

**Universidad Nacional Autónoma de México**  
**Facultad de Estudios Superiores Acatlán**

Interpretación de Normas para Concreto Hidráulico

**Tesina**

Para obtener el Título de  
**Licenciado en Ingeniería Civil**

Presenta

**Ricardo Francisco González González**

**Asesor: Ing. Omar Morales**

**Santa Cruz Acatlán, Estado de México**

<sup>1</sup> **2019**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Índice

Capítulo 1. Marco Teórico .....	5
1.1 Antecedentes .....	5
1.2 Planteamiento del Problema .....	5
1.3 Objetivo General .....	6
1.4 Objetivos Específicos .....	6
1.5 Alcances .....	6
1.6 Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN) .....	7
1.7 Normas Mexicanas (NMX) .....	7
1.8 Evaluación de la Conformidad .....	8
1.9 Entidad Mexicana de Acreditación A.C (EMA) .....	8
1.10 Acreditación .....	9
1.11 Ventajas de Acreditación .....	9
1.12 Pruebas Básicas en Concreto Fresco .....	9
1.12.1 Revenimiento .....	10
1.12.2 Masa Unitaria y Rendimiento .....	11
1.12.3 Contenido de Aire .....	11
1.12.4 Temperatura .....	12
1.13 Pruebas Básicas en Agregados .....	12
1.13.1 Densidad, Absorción y Humedad Superficial .....	12
1.13.2 Granulometría .....	13
1.13.3 Masa Volumétrica .....	16
1.14 Pruebas Básicas en Concreto Endurecido .....	16
1.14.1 Resistencia a Compresión .....	16
1.14.2 Módulo de Elasticidad .....	17
Capítulo 2. Pruebas en Concreto Fresco .....	19
2.1 Prueba de Revenimiento .....	19
2.2 Prueba de Masa Unitaria y Cálculo de Rendimiento .....	32
2.3 Prueba de Contenido de Aire .....	55
2.4 Prueba de Temperatura .....	62

2.5 Elaboración de Especímenes para Ensayo .....	65
Capítulo 3. Pruebas en Concreto Endurecido.....	79
3.1 Prueba de Resistencia a Compresión.....	79
3.2 Prueba de Módulos Elásticos .....	90
Capítulo 4. Pruebas en Agregados .....	103
4.1 Prueba de Densidad y Absorción del Agregado Grueso .....	103
4.2 Prueba de Densidad y Absorción del Agregado Fino .....	114
4.3 Prueba de Masa Volumétrica .....	133
4.4 Prueba de Granulometría .....	145
Capítulo 5. Diseño y Proporcionamiento Básico de Mezclas de Concreto .....	158
Capítulo 6. Patologías en el Concreto .....	167
Conclusiones .....	173
Bibliografía .....	174



## **Introducción**

Tener un control de calidad en los productos que se ofrecen, es de suma importancia, ya que con esto se le transmite al cliente o futuros clientes una confianza de que el producto va a tener un óptimo desempeño durante su vida útil, por lo cual dependiendo del proyecto se necesita que el producto cumpla con características específicas, los procedimientos para obtener las características de tales productos serán realizados por un personal técnico capacitado en control de calidad, pero para asegurar que el personal realiza los procedimientos de manera correcta se deberá de auxiliar de un conjunto de normas y especificaciones las cuales indican la manera y el equipo con las que se realizaran dichos procedimientos.

En el presente trabajo se recaban las normas necesarias y junto con la experiencia de un laboratorio certificado en control de calidad del concreto premezclado, se presenta un manual de guía y apoyo, el cual facilita la comprensión de las normas básicas para el diseño y control del concreto, así como material de consulta para estudiantes y laboratoristas o aquellas personas que están involucradas e interesadas en el campo del concreto industrializado y sus componentes.

Al inicio del presente documento se da la breve explicación de la importancia de tener un laboratorio certificado, a continuación a modo de comprender un poco sobre tecnología básica de concreto que llevará a entender la importancia de cada norma que se va a presentar, después se presenta la interpretación de las normas básicas de los laboratorios de concreto fresco, concreto endurecido y agregados y al final se explica el diseño y proporcionamiento básico de concreto a modo de comprender de manera práctica como utilizar en la práctica los resultados obtenidos de acuerdo a las normas.

# Capítulo 1. Marco Teórico

## 1.1 Antecedentes

Ya que dependiendo del tipo de obra, estructuras, clima, ubicación y proceso constructivo es necesario que las especificaciones del concreto se modifiquen para cada caso, lo cual también influye en la selección de materias primas, asociaciones nacionales e internacionales como Organismo Nacional de la Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), las Normas Mexicanas y American Concrete Institute (ACI), establecen, actualizan y evalúan los procedimientos de laboratorios y en conjunto con laboratorios certificados trabajan para que estas normas se mantengan lo más actualizadas posibles y sean utilizadas sin excepción alguna.

Asociaciones como la EMA corroboran que los laboratorios tengan un control de calidad que verifica que cualquier material utilizado para la elaboración del concreto así como el producto terminado cumpla los parámetros estandarizados de acuerdo a la norma, ya que cada componente de este, siendo parte fundamental en su elaboración podría afectar directamente en el comportamiento durante su vida útil. Por lo tanto, el control de calidad deberá ser realizado por laboratoristas certificados auxiliados por un conjunto de normas para poder realizar las pruebas necesarias.

## 1.2 Planteamiento del Problema

Para que un laboratorista pueda realizar las pruebas conforme a lo establecido por las antes mencionadas asociaciones, éste debe tener como guía las normas mexicanas, las cuales lo guiarán y le darán a conocer los pasos a seguir y el equipo a utilizar para poder realizar dichas pruebas.

Por consiguiente una mala interpretación debida a la falta de práctica, el vocabulario técnico que ocupa la norma y la forma en que las normas describen los procedimientos, no se podrá llegar a un buen entendimiento de la misma y por

lo tanto, a una mala realización de las pruebas y a unos resultados no confiables, lo que llevara a un mal control de calidad del producto.

### **1.3 Objetivo General**

Elaborar una guía práctica que explique de manera clara los procedimientos, equipos utilizados y resultados a obtener para cada una de las pruebas básicas que se realicen tanto al concreto y agregados, y que a la vez se complemente con teoría sobre tecnología básica de concreto para obtener un panorama más completo acerca de la industria del concreto y su control de calidad.

### **1.4 Objetivos Específicos**

- Explicar de manera concisa y clara los conceptos de tecnología básica de concreto.
- Describir como se obtienen las propiedades del concreto en estado fresco, como son el revenimiento, masa unitaria, contenido de aire y elaboración de especímenes en laboratorio.
- Describir cómo se ensayan los especímenes en el laboratorio para obtener sus propiedades del concreto en estado endurecido.
- Describir cómo se obtienen las propiedades físicas de una grava y de una arena en laboratorio.
- Explicar cómo se diseña y proporciona una mezcla básica de concreto.

### **1.5 Alcances**

En el presente trabajo se pretende elaborar una guía que recopile e interprete de manera práctica con imágenes y recomendaciones, como se llevan a cabo las pruebas básicas de concreto y agregados en laboratorio:

- Obtener en agregados una caracterización básica de grava y arena, y tales resultados como utilizarlos en un diseño y proporcionamiento de mezcla.

- Obtener las características en concreto fresco y endurecido para así saber si tu diseño de mezcla cumplió con lo deseado o se tiene que hacer ajustes correspondientes.

Para cada prueba se ha elaborado una serie de pasos prácticos en base a las normas mexicanas actualizadas, para que aquel que las lea pueda entender sin problema el procedimiento que se debe llevar a cabo y que a la hora de ponerlo en práctica no tenga dificultad y pueda llevar a cabo un buen control de calidad del concreto y comprender la influencia que tiene cada propiedad del concreto.

### **1.6 Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN)**

En materia de metrología, es decir, la ciencia que estudia las mediciones de magnitudes garantizando su normalización, esta ley establece el sistema general de unidades de medida y precisa los conceptos fundamentales sobre metrología, los requisitos para la fabricación, importación, reparación, venta, verificación y uso de los instrumentos para medir así como los patrones de medida. En materia de normalización, certificación, acreditación y verificación, fomenta la transparencia y eficiencia en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas.

### **1.7 Normas Mexicanas (NMX)**

De acuerdo a la LFMN, establece que:

Las normas mexicanas son de aplicación voluntaria, salvo en los casos en los que los particulares manifiesten que sus productos, procesos o servicios son conformes con las mismas. Su campo de aplicación puede ser nacional, regional o local.

Estas constituirán las referencias para determinar la calidad de los productos y servicios de que se trate, particularmente para la protección y orientación de los consumidores. Dichas normas en ningún caso podrán contener especificaciones inferiores a las establecidas en las normas oficiales mexicanas.

Estas deberán ser revidas o actualizadas dentro de los 5 años siguientes a la publicación de la declaratoria de vigencia.

### **1.8 Evaluación de la Conformidad**

Conforme a la LFMN, se entiende por Evaluación de la Conformidad: A la determinación del grado de cumplimiento con las normas internacionales u otras especificaciones, prescripciones o características. Comprende, entre otros, los procedimientos de muestreo, prueba, calibración, certificación y verificación.

Para la evaluación de la conformidad de las normas NOM y NMX se estará sujeto a lo dispuesto en el título Cuarto Artículo 68 de la LFMN, en el cual se puede leer:

Art. 68.- La evaluación de la conformidad será realizada por las dependencias competentes o por los organismos de certificación, laboratorios de prueba o de calibración y por las **unidades de verificación** acreditados.

Es decir, la LFMN establece la posibilidad de que entidades privadas lleven a cabo la función de evaluar la conformidad de las normas mediante:

1. Constatación Ocular
2. Muestreo
3. Medición
4. Pruebas de Laboratorio, o
5. Examen

### **1.9 Entidad Mexicana de Acreditación A.C (EMA)**

Su objetivo es acreditar a los organismos de la Evaluación de la Conformidad, que son laboratorios de ensayo, calibración, clínicos y organismos de certificación. Con lo cual avala que los organismos cuentan con:

1. Instalaciones adecuadas
2. Tienen personal capacitado
3. Cuentan con sistema de mejora continua
4. Operan bajo la normatividad nacional e internacional vigente

5. Operan con códigos de ética y de confidencialidad estrictos.

### **1.10 Acreditación**

Según la LFMN, la acreditación es:

Acto por el cual una entidad de acreditación reconoce la competencia técnica y confiabilidad de los organismos de certificación, de los laboratorios de prueba, de los laboratorios de calibración y/o unidades de verificación para la evaluación de la conformidad.

### **1.11 Ventajas de Acreditación**

Con esto un laboratorio ofrece seguridad al realizar las pruebas, calibraciones o mediciones con resultados correctos y confiables que cumplen con la normatividad requerida para que demuestre que tiene competencia técnica, con la cual ofrece:

- Validez y adecuación de las pruebas
- Seguimiento de mediciones y calibraciones a normas nacionales
- Calibración y mantenimiento de equipo
- Muestreo, manejo y transporte de productos en los que se efectuaran pruebas
- Aseguramiento de la calidad de los resultados de pruebas de calibración

Con lo que se reduce el riesgo de producir o proveer un producto defectuoso, con lo que aumenta la confianza en los clientes.

### **1.12 Pruebas Básicas en Concreto Fresco**

El **concreto** está compuesto por cuatro componentes principalmente: cemento portland, agua, grava y arena. El compuesto entre cemento portland y agua se le llama pasta, el cual une a la grava y arena, creando una masa similar a la de una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua.

Donde la pasta constituye aproximadamente del 25% al 40% del volumen total del concreto, en el cual el cemento ocupa del 7% al 15% y el agua entre el 14% y 21%. El contenido de aire atrapado varía del 1% al 8%. Y los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75%.

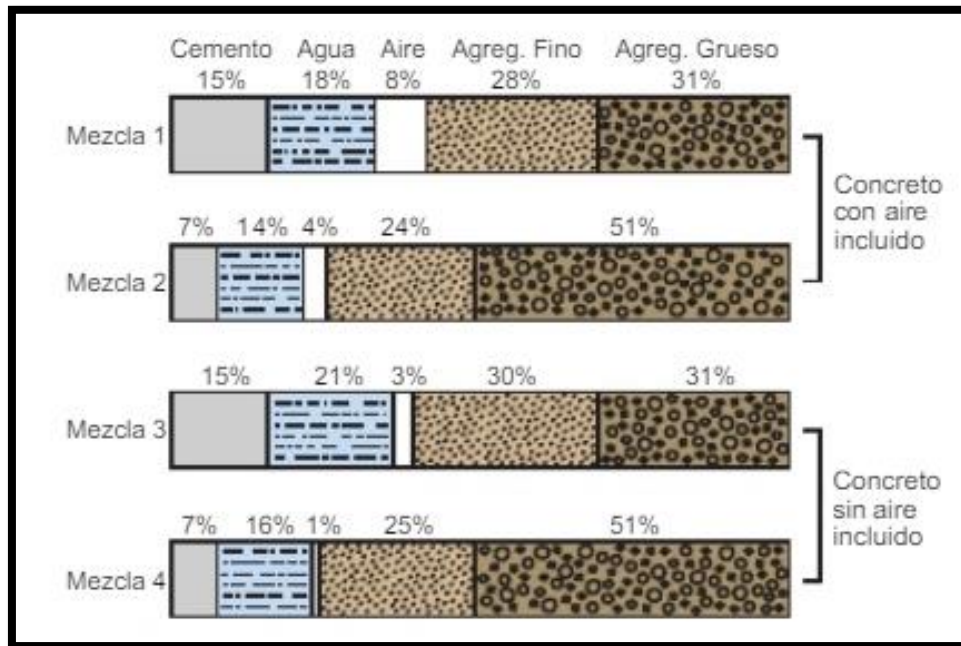


Figura 1.1. Variación de las Proporciones Usadas en el Concreto. Figura. 2004.  
PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

### 1.12.1 Revenimiento

Las propiedades relacionadas con trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, bombeabilidad, sangrado y facilidad de acabado. Por lo cual la trabajabilidad se puede definir mejor como la cantidad de trabajo interno útil necesario para producir una compactación total. La consistencia significa el grado de humedad. El revenimiento se usa como medida de consistencia y de humedad en el concreto, con el cual se busca una estabilidad en la mezcla es decir, una cohesión entre los componentes del concreto y resistencia a la segregación. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación serán difíciles y

las partículas más grandes pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, si una mezcla es muy húmeda puede provocar segregación.

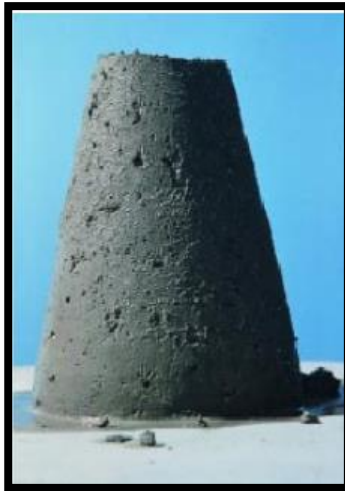


Figura 1.2. Concreto con Bajo Revenimiento. Figura. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

### **1.12.2 Masa Unitaria y Rendimiento**

La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y densidad del agregado y las cantidades del agua y cemento. Para un concreto convencional esta varía desde los 2200 hasta los 2400 kg/cm<sup>2</sup>. Y este ayuda a determinar el rendimiento de tu producción, ya que en teoría, se sabe el peso de los componentes de tu concreto por lo cual la suma de todos te dará el peso de tu concreto, este resultado comparado con el obtenido con el de laboratorio te da el porcentaje de rendimiento, el cual te indicara si estas suministrando más o menos producto del deseado. Por otro lado, el tamaño máximo y tipo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento, al reducirse la cantidad de pasta, lo cual provoca en un aumento de la cantidad de agregado, se aumenta la densidad.

### **1.12.3 Contenido de Aire**

Durante el acomodo de los elementos del concreto, aunque el cemento y los finos de los agregados son las partículas más pequeñas que componen el concreto, siempre quedaran espacios entre las partículas. Cuando el concreto termina de fraguar y está en su estado endurecido, y a este se le aplica



compresión, los espacios que quedaron libres no podrán tomar carga y por lo tanto disminuirá la resistencia deseada.

#### **1.12.4 Temperatura**

La calidad de unión se debe a las reacciones químicas entre el cemento y agua, conocida como hidratación. Por lo tanto una temperatura alta de curado acelera la hidratación y afecta así la resistencia temprana del concreto. Ya que la velocidad inicial de hidratación a temperaturas superiores retarda la hidratación subsecuente y produce una distribución no uniforme de los productos de hidratación. Por lo tanto, se obtendrá un aumento en la resistencia de 24 horas pero con una disminución en la resistencia a los 28 días., eso con respecto a la temperatura del concreto. La temperatura ambiente también afecta la trabajabilidad de mezcla, es aparente que en un día cálido se tendría que aumentar el contenido de agua de la mezcla, para mantener una trabajabilidad constante. Conforme se incrementa la temperatura del concreto, el porcentaje de incremento de agua necesaria para cambiar el revenimiento también aumenta. La pérdida de revenimiento con el tiempo también se altera con la temperatura.

#### **1.13 Pruebas Básicas en Agregados**

##### **1.13.1 Densidad, Absorción y Humedad Superficial**

La densidad de un agregado es la relación entre su masa y la masa del agua con el mismo volumen absoluto, y este es necesario para determinar la cantidad de agregado que se requiere para producir un determinado volumen de concreto. Este dependerá de la densidad de los minerales que lo componen y así como la cantidad de huecos o poros que contengan, entre más poros tengan menor va a ser su densidad. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades que varían entre los 2.4 y 2.9.

Como se mencionó anteriormente, la densidad aparente de los agregados depende también de la porosidad y, como consecuencia, se ve afectado el rendimiento del concreto para determinada masa del agregado. Los poros del agregado presentan un rango amplio de tamaños, por lo cual el agua puede penetrar y la tasa de penetración dependerá de su tamaño, continuidad y volumen total. Determinando la absorción que tendrán los agregados del agua total del concreto se puede controlar las masas correctas de los materiales en la revoltura. Cuando todos los poros del agregado están llenos, se dice que este está saturado y superficialmente seco o está en SSS, si se deja que un agregado en esas condiciones quede expuesto al aire seco, parte del agua se evaporara y el agregado ya no estará saturado, sino secado al aire, el secado prolongado en un horno reduce aún más el contenido de agua en el agregado y, cuando ya no queda nada de humedad, se dice que el agregado está seco con masa constante.



Figura 1.3. Contenido de Humedad en los Agregados. Figura. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

### 1.13.2 Granulometría

Es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices. La granulometría y los límites granulométricos se expresan en porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz. Hay muchas razones para que se especifiquen los límites granulométricos, bien como la demanda de agua y de cemento, tabajabilidad, bombeabilidad,

economía, contracción y durabilidad del concreto. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto, mientras arenas y gravas gruesas pueden producir mezclas sin trabajabilidad, y los agregados que no tienen deficiencia o exceso de cualquier tamaño y presentan una curva granulométrica suave producirán resultados más satisfactorios.



Figura 1.4. Variación de Tamaños de Partículas en el Agregado para Concreto.  
Imagen. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

El efecto de la combinación de varios tamaños sobre el volumen total de vacíos entre los agregados se puede ejemplificar como, si en una probeta se llenara con partículas grandes de agregados con tamaño y forma uniforme, otra se llena igual con el mismo volumen de partículas pequeñas con tamaño y forma uniforme y otra se llena con partículas con ambos tamaños, por lo tanto cuando la probeta se llena de agua con un solo tamaño de partículas, un mismo volumen de agregado contiene una cantidad de vacíos constante independientemente del tamaño del agregado. Cuando se combinan dos tamaños de agregado, la cantidad de vacíos disminuye, por lo cual la demanda de pasta de cemento para el concreto se relaciona con la cantidad de vacíos de la combinación de agregados.

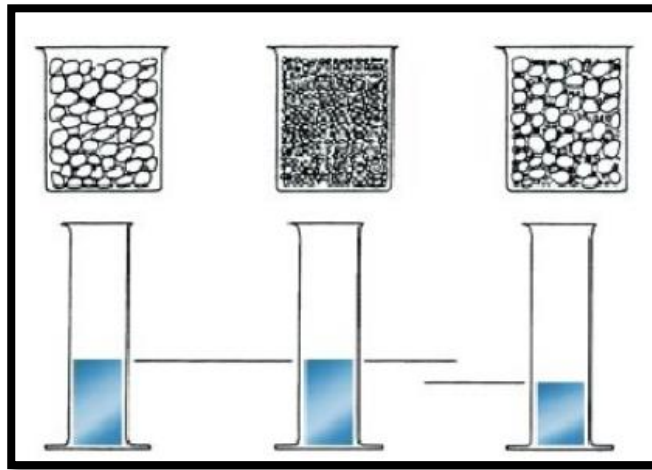


Figura 1.5. Nivel de Líquido en Probetas, que Representa a los Vacíos. Figura. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

La granulometría más deseable para el agregado fino depende del tipo de obra, si la mezcla es rica y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas pobres, o cuando se usan agregados gruesos de pequeñas dimensiones, es conveniente para que se logre una buena trabajabilidad. Las cantidades de agregados finos que pasan a través de los tamices de No.50 y No.100 afectan a la trabajabilidad, textura superficial, contenido de aire y sangrado. Al final, las proporciones del agregado fino, con relación a la cantidad de agregados, producen concretos con buena trabajabilidad.

El Modulo de Finura (MF) es un índice, cuanto mayor es el MF, más grueso es el agregado. El MF de los agregados finos es útil para estimar las proporciones del agregado fino y grueso en el concreto. Si decrece el MF, aumenta la cantidad de materiales finos que pasa la malla No.200.

El tamaño máximo del agregado grueso influye en la economía del concreto. Normalmente se requieren más agua y cemento en concretos con agregados gruesos de tamaño máximo menor comparado con agregados de tamaño máximo mayor, debido al aumento del área superficial total del agregado.

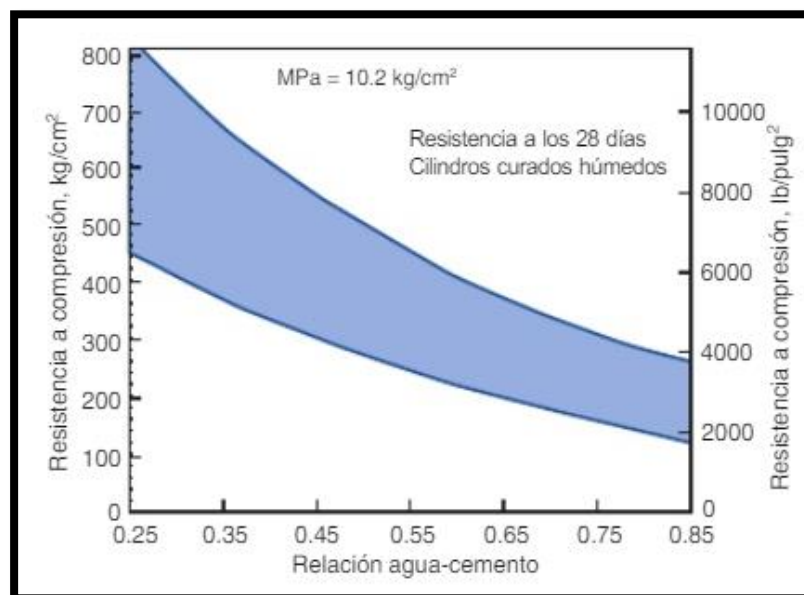
### 1.13.3 Masa Volumétrica

Es la masa o el peso de un agregado necesario para llenar un recipiente con volumen especificado y esta masa se usa para convertir cantidades por masa a cantidades por volumen. El volumen aquí, es aquel ocupado por los agregados y por lo vacíos entre las partículas del agregado. La masa unitaria suelta de un agregado usado para concreto varía de 1200 a 1750 kg/m<sup>3</sup>. Una masa unitaria mayor significa que hay pocos huecos para que el agregado fino y cemento llenen. La angularidad aumenta la cantidad de vacíos, mientras que los tamaños mayores de un agregado bien graduado y la mejoría de la granulometría disminuyen el contenido de vacíos.

## 1.14 Pruebas Básicas en Concreto Endurecido

### 1.14.1 Resistencia a Compresión

Esta se puede definir como la máxima resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Dicha propiedad suele dar una imagen general de la calidad del concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm<sup>2</sup>) a una edad de 28 días. La resistencia está en función a la relación agua/cemento, hidratación, curado, edad del concreto y compactación.



Gráfica 1.1. Variación de Resistencias para Relaciones Agua/Cemento. Gráfica. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Como se mencionó anteriormente, la cantidad de aire produce vacíos, por lo cual, la relación agua/cemento y el grado de compactación afectan al volumen de vacíos en el concreto. Por lo cual la resistencia está influida por el volumen de todos los vacíos dentro de este.

Pero la resistencia desarrollada por una mezcla, estará influida por distintos factores como: relación agua/cemento, relación cemento/agregado, granulometría, textura superficial, forma, resistencia y rigidez del agregado y tamaño máximo del agregado. El agrietamiento vertical de un espécimen sujeto a compresión se inicia durante una carga de 50 a 75 por ciento de la carga final. El esfuerzo al que se forman las grietas depende de las propiedades del agregado grueso, ya que la grava lisa conduce a un agrietamiento con esfuerzo menor que la grava angular, ya que la forma influye en la adherencia mecánica. Por otro lado la resistencia a compresión dependerá del tipo de agregado grueso utilizado y la relación agua/cemento, ya que una relación menor a 0.4 con agregado triturado ha dado hasta resistencia 38% mayores que a una grava lisa. Pero con un aumento de la relación agua/cemento a 0.6 o mayores, la influencia del agregado disminuye considerablemente. Por lo tanto, el agregado grueso actúa como supresores de grietas, ya que un contenido mayor de agregado producirá una menor contracción y menor sangrado, que por consiguiente un menor daño a la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento.

#### **1.14.2 Módulo de Elasticidad**

Cualquier esfuerzo, está asociado una deformación y viceversa. La relación esfuerzo-deformación es de vital interés en el diseño estructural. El módulo de elasticidad (E), se define como la razón entre el esfuerzo a una deformación correspondiente, para un concreto convencional E varía de 140,000 a 420,000 kg/cm<sup>2</sup>. Los concretos con alta resistencia desarrollan menor cantidad de grietas, por lo tanto exhibe una menor deformación, es decir, el módulo de elasticidad aumenta con el incremento de la resistencia a compresión. Pero este también depende por el módulo de elasticidad del agregado y la relación volumétrica del agregado en el concreto. Ya que las proporciones volumétricas del

agregado y de la pasta afectan el módulo de elasticidad y por lo cual un agregado con densidad normal tiene mayor modulo que la pasta, es decir que con un mayor contenido de agregado da un mayor módulo de elasticidad, pero el módulo de elasticidad de un agregado ligero difiere poco del módulo de la pasta por lo cual proporciones de agregado ligero en la mezcla no afectan al módulo de elasticidad.

## Capítulo 2. Pruebas en Concreto Fresco

### 2.1 Prueba de Revenimiento

Esta obedece a la norma **NMX-C-156-ONNCCE-2010**, “Industria de la Construcción-Concreto Hidráulico-Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Determina la consistencia del concreto hidráulico en estado fresco. Con el que se obtienen valores confiables entre 2 cm a 20 cm, aplicable a concreto fresco industrializado o hecho en obra con un tamaño máximo nominal de agregado menor de 50mm.

- **Equipo**

  - Molde

De metal o cualquier otro material no absorbente, con la superficie interior lisa, libre de protuberancias y remaches, el cuerpo del molde no debe tener abolladuras y debe estar fabricado con junta o costura.

Debe ser rígido y tener la forma de un cono truncado de 20 cm en su diámetro mayor, 10 cm en el menor y 30 cm de altura con una tolerancia en todas las dimensiones de  $\pm 3$  mm, con dos estribos para apoyar los pies y de dos asas para levantarlo.

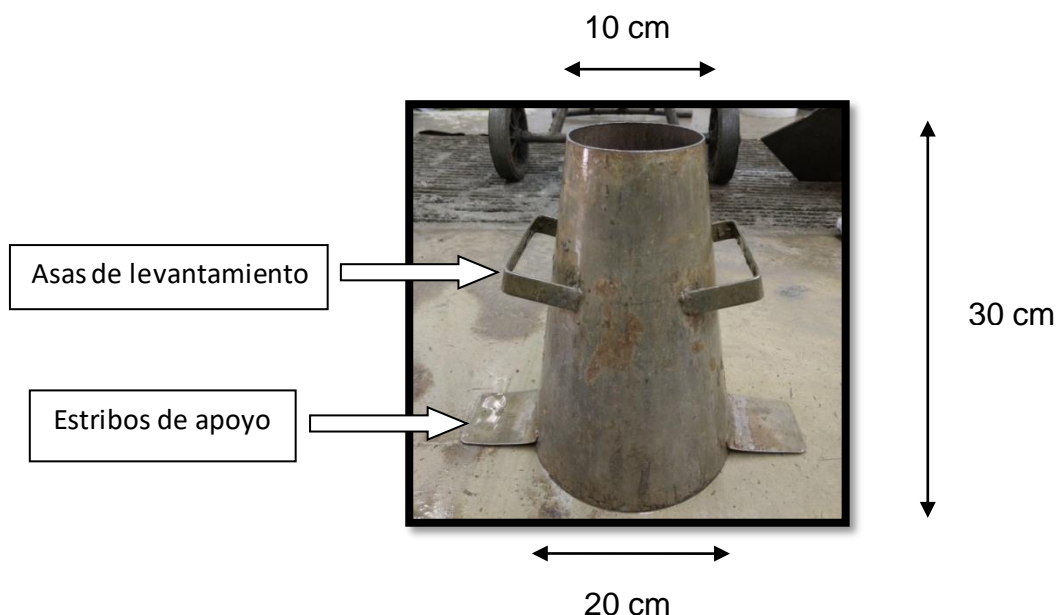


Figura 2.1.1. Cono de Revenimiento.



### Varilla de Compactación

Es una barra de acero de sección circular, recta, lisa y con uno o los dos extremos de forma semiesférica de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud.



Figura 2.1.2. Varilla de compactación con punta semiesférica.



Figura 2.1.3. Varilla de compactación graduada.

**NOTA:** La varilla para revenimiento puede o no estar graduada, pero con la graduada se puede guiar mejor, ya que estas verificando que tus compactaciones las realizas a las alturas correspondientes.

- **Materiales Auxiliares**
  - Placa de Revenimiento
  - Pala
  - Cucharón
  - Flexómetro

- **Preparación y Acondicionamiento de la Muestra**

La muestra se obtiene de acuerdo en la norma NMX-C-161-ONNCCE:

A. Si es en olla estacionaria, la muestra se toma directo de la olla con cucharón.

B. Pero si la muestra se va a tomar desde una carretilla, se remezcla el concreto con una pala o cucharón lo necesario para garantizar uniformidad en la mezcla.



Figura 2.1.4. Antes del remezclado.



Figura 2.1.5. Después del remezclado

- **Método de Ensayo.**

1. Humedecer el molde y placa o superficie, con una esponja, de tal forma que no aporte agua a la mezcla.



Figura 2.1.6. Humedecer la placa o superficie.



Figura 2.1.7. Humedecer el cono de revenimiento.

2. Colocar el cono en una superficie horizontal, plana, rígida, húmeda y no absorbente.



Figura 2.1.8. Colocar la placa o el cono sobre una superficie horizontal.

3. Mantenerse firme en el lugar donde se llevara a cabo el llenado, apoyando los pies en los estribos

**NOTA: Se recomienda que las puntas de los pies estén sobre los estribos, ya que todo el peso del operador durante la prueba se apoyara sobre las puntas.**

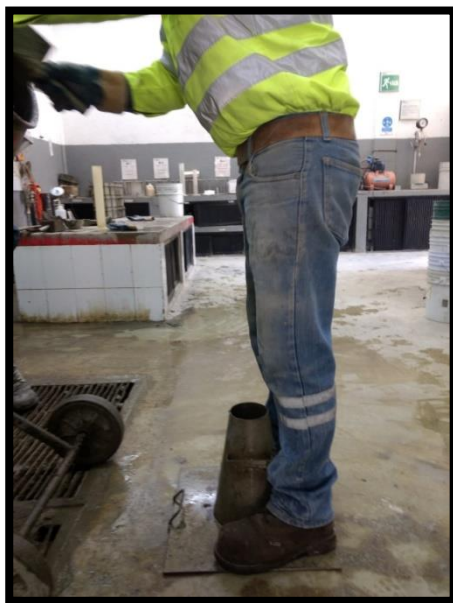


Figura 2.1.9. Apoyando los pies en los estribos.



Figura 2.1.10. Colocando las puntas de los pies en los estribos.

4. Proseguir a llenar el molde en 3 capas, aproximadamente de igual volumen, y a cada capa se le debe compactar con 25 penetraciones de manera distribuidas proporcionalmente con la varilla, de las cuales aproximadamente la mitad de las penetraciones se introducirá la varilla de manera inclinada en la zona perimetral y la otra mitad de las penetraciones con la varilla horizontal avanzando en espiral hacia el centro. El llenado será moviendo el cucharón alrededor del borde superior del molde al descargar, para asegurar una distribución uniforme.



Figura 2.1.11. La mitad de las compactaciones con la varilla inclinada en la zona perimetral.



Figura 2.1.12. La otra mitad de las compactaciones con la varilla lo más recta posible avanzando en espiral hacia el centro.

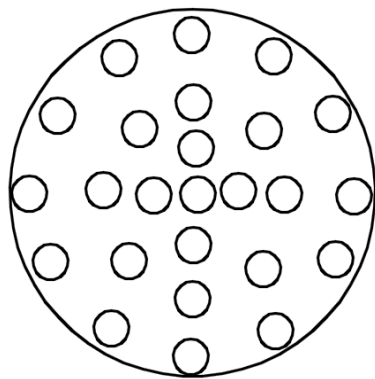


Figura 2.1.13. Buena distribución de las penetraciones.

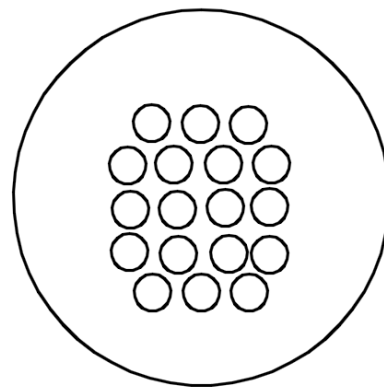


Figura 2.1.14. Mala distribución de las penetraciones.

**NOTA: El inclinar y colocar recta la varilla aseguras una correcta distribución de las penetraciones y por lo tanto un correcto revenimiento.**



5. En la **primera capa** se llenara a una altura aproximada de 7 cm. Tratando que la varilla al hacer las penetraciones no impacte con la superficie tanto de la placa o del superficie plana

**NOTA:** Se recomienda que para asegurar de compactar los 7 cm y de no impactar la superficie se deba medir la varilla en el molde antes de empezar las penetraciones.



Figura 2.1.15. Vaciado con el cucharón.

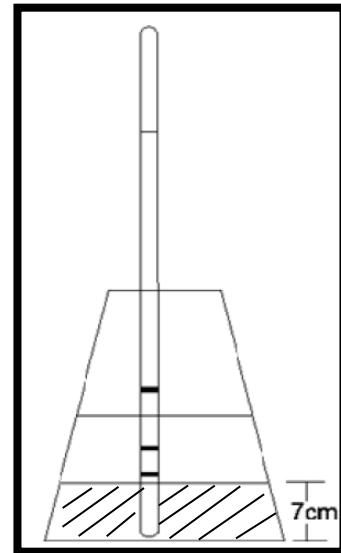


Figura 2.1.16. Esquema de altura de la primera capa.



Figura 2.1.17. Medición de la varilla, para la primera capa.

6. La **segunda capa** se llenara a una altura aproximadamente de 8 cm, con la cual la suma de alturas entre la primera y la segunda sea de 15 cm. Pero con la excepción que al compactar, tratar que se compacte todo su espesor y de manera que la varilla penetre 2 cm la primera capa.

**NOTA:** Se recomienda que para asegurar de compactar los 8 cm de la segunda capa y 2 cm de la primera se deba medir la varilla en el molde antes de empezar las penetraciones.



Figura 2.1.18. Medición de la varilla, para la segunda capa.

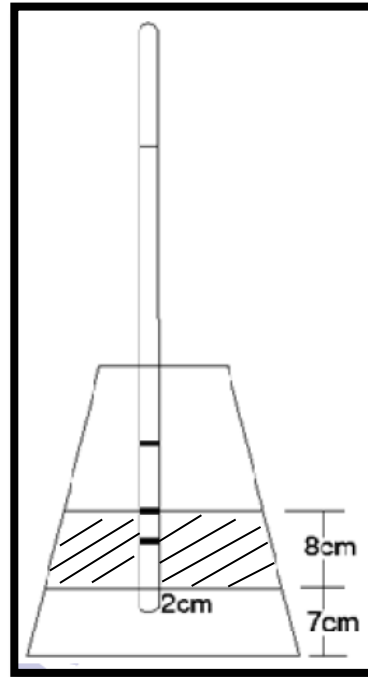


Figura 2.1.19. Esquema de altura de la segunda capa.

7. La **tercera capa** se llenara hasta el extremo del molde, con excepción que a esta capa se le añadirá un ligero excedente por encima del borde superior. Si el concreto se asienta a un nivel inferior del borde del molde, en la penetración número 10 o en la 20 se agregara otro excedente para mantener su nivel por encima del borde del molde, y se continuara con las penetraciones faltantes para llegar a las 25 en total.



Figura 2.1.20. Ligero excedente.



Figura 2.1.21. Medición de la varilla, para la tercera capa.

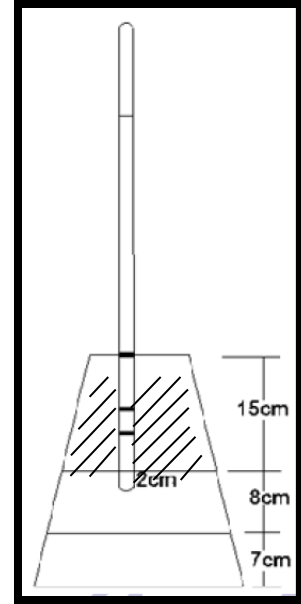


Figura 2.1.22. Esquema de altura de la tercera capa.

8. Al terminar las compactaciones de la tercera capa, enrasar mediante un movimiento de rodamiento de la varilla.



Figura 2.1.23. Enrasando.



Figura 2.1.24. Acabado mediante rodamiento de varilla.

9. Limpiar la parte exterior del molde de cualquier exceso y también la placa o superficie, para que cuando se levante el molde, el concreto pueda fluir sin obstrucciones.



Figura 2.1.25. Limpiando exceso de la parte superior del molde.



Figura 2.1.26. Limpiando exceso de la placa.

10. La operación de levantar completamente el molde los 30 cm de su altura debe realizarse en  $5 \text{ s} \pm 2$ , alzándolo verticalmente sin movimiento lateral o torsional.

**NOTA 1:** Para esto se recomienda que después de haber limpiado la superficie y el molde de los excesos, se proceda primero a agarrar las asas del molde con ambos manos haciendo presión hacia abajo, después mover los pies en forma en que estos queden paralelos a los estribos, para así asegurar un levantamiento vertical.



**NOTA 2:** Un indicador de que tu revenimiento se realizó de manera correcta, es que cuando se levanta el molde, la mezcla al realizar su desplazamiento hacia abajo este cae de manera proporcional, es decir, que se ve muy bien distribuida la mezcla en todas las direcciones.



Figura 2.1.27. Primero agarrar las asas haciendo presión hacia abajo y después mover los pies en paralelo a los estribos.



Figura 2.1.28. Levantamiento del cono en 5 seg  $\pm$  2 seg.

11. Medir inmediatamente el revenimiento, determinando el asentamiento del concreto a partir del nivel original de la base superior del molde, esta diferencia de alturas será a partir del **centro desplazado** de la superficie superior del espécimen.



Figura 2.1.29. Medir el asentamiento a partir del nivel de la base superior del molde.



Figura 2.1.30. Hacer la medición de la diferencia de alturas desde el centro desplazado.

- **Calculo y Expresión de los Resultados**

Si alguna porción del concreto se desliza o cae hacia un lado, se dice que ocurrió un revenimiento cortante, y esto se debe a que la mayoría de las penetraciones se concentraron más de un lado, se desecha el ensaye y se efectúa otra nueva prueba con la misma mezcla.

Si el desplazamiento persiste, comúnmente es el caso en mezclas ásperas o con contenido de grava alto, esto indica que falta cohesión y plasticidad en la mezcla.



Figura 2.1.31. Revenimiento cortante ocasionado por 2 factores:

- 1) Se concentraron las compactaciones en un solo lado
- 2) Falta de cohesión y plasticidad de la mezcla

Dependiendo de los aditivos que se utilicen en la mezcla, estos le darán más o menos fluidez a la mezcla y ya que estos varían constantemente, tanto en fecha de producción y dosificaciones de materias primas, estos actuaran de diferente manera en las mezclas por lo tanto, se tienen tolerancias permitidas:

<b>Tabla 2.1.1. Valor Nominal del Revenimiento y Tolerancias</b>	
<b>Revenimiento Nominal (mm)</b>	<b>Tolerancias (mm)</b>
Menor de 50	± 15
de 50 a 100	± 25
Mayor de 100	± 35

- **Precisión**

Precisión de un solo operador

A. La desviación estándar máxima para un operador al efectuar el ensayo de revenimiento es de 7 mm.

B. Dos determinaciones obtenidas por un mismo operador no deben diferir en más de 20 mm.

Precisión de varios operadores

A. La desviación estándar máxima para varios operadores al efectuar el ensayo de revenimiento es de 12.5 mm.

B. Dos determinaciones obtenidas por diferentes operadores no deben diferir en más de 35 mm.

NOTA: La desviación estándar es una medida que indica que tan dispersos están los datos con respecto al promedio, es decir la fiabilidad de los datos estadísticos. Si se obtiene una desviación alta, indica que hay un mayor margen de error a lo esperado. Y esto con el objetivo de asegurar la repetibilidad en tus ensayos.

Esta se calculó con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{N}} \text{ Ecuación 2.1.1.}$$

Donde:

S = Desviación Estándar

X = Un valor del conjunto de datos.

$\mu$  = Promedio del conjunto de datos.

N = Número de datos.

**Ejemplo:**

Un laboratorista obtiene los siguientes revenimientos; 150 mm, 170 mm, 140 mm, 145 mm, 130 mm. Determinar si cumple con la precisión de la norma.

1. Calcular el promedio.

$$\mu = \frac{150 + 170 + 140 + 145 + 130}{5} = 147 \text{ mm}$$

2. Elevar al cuadrado la distancia entre cada dato y el promedio.  $(x-\mu)^2$ .

<b>Tabla 2.1.2</b>		
<b>x</b>	<b><math>(x - \mu)^2</math></b>	<b>Resultado</b>
150	$(150 - 147)^2$	9
170	$(170 - 147)^2$	529
140	$(140 - 147)^2$	49
145	$(145 - 147)^2$	4
130	$(130 - 147)^2$	289

3. Obtener la desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{N}} = \sqrt{\frac{9 + 529 + 49 + 4 + 289}{5}} = \sqrt{176} = \mathbf{13.27 \text{ mm}}$$

Aunque este operador cumple con el inciso B de precisión, este no cumple con el inciso A. Esto quiere decir que este laboratorista tiene un margen de error muy alto y no cumple con la precisión de la norma.

- **Informe de Ensayo**

El revenimiento debe medirse con una aproximación de 1 cm.

- Revenimiento obtenido en cm.
- Revenimiento de proyecto en cm.
- Tamaño máximo del agregado en mm.
- Identificación del concreto.

## 2.2 Prueba de Masa Unitaria y Cálculo de Rendimiento

Esta obedece a la norma **NMX-C-162-ONNCCE-2010**, “Industria de la Construcción-Concreto Hidráulico-Determinación de la Masa Unitaria y Cálculo del Rendimiento”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Determina la masa unitaria y cálculo del rendimiento, es aplicable al concreto fresco industrializado o hecho en obra.

- **Equipo**

Balanza o báscula

Se tiene que contar con una división mínima de 50 gr para ejecución de la masa unitaria y con una división mínima del 0.3% de la carga del recipiente vacío y el mismo lleno de agua para obtención del factor del recipiente, es decir por ejemplo, que si tu recipiente pesa 4kg vacío y lleno de agua pesa en total 10 kg, los 10,000 gr del recipiente con agua por 0.003 (que son los 0.3% entre 100) darían 30 gr, es decir que tu bascula debe tener una división mínima de 30 gr. Y lo mismo para el recipiente vacío.

Mazo o Martillo

Con cabeza de neopreno y mango de madera, con una masa de 600 g  $\pm$  200 gr para recipientes de 14 L o menores y de 1000 g  $\pm$  200 g para recipiente con capacidad mayor de 14 L.



Figura 2.2.1. Mazo con cabeza de neopreno.

### Placa Enrasadora

Una placa de acero o vidrio recta y plana de al menos 6 mm de espesor o una placa de acrílico de al menos 12 mm de espesor, con un ancho y largo de al menos 50 mm mayor que el diámetro del recipiente. Los extremos de la placa deben ser rectos y lisos con una tolerancia de  $\pm 2$ mm.



Figura 2.2.2. Placa Enrasadora.

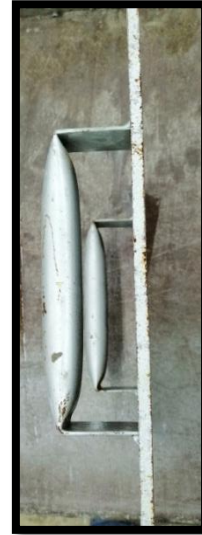


Figura 2.2.3. Espesor de placa enrasadora de 6 mm de espesor.

### Placa de Verificación

De vidrio con un espesor de al menos 6 mm y un largo 50 mm mayor que el diámetro del recipiente que va a ser verificado.



Figura 2.2.4. Placa de verificación.



Figura 2.2.5. Espesor de placa de verificación de 6 mm de espesor.



### Recipiente o Unidad de Medición

Se debe emplear recipiente cilíndrico de metal no atacable por la pasta de cemento, que conserve sus dimensiones bajo condiciones de uso. Y que tenga elemento de sujeción.

El borde superior del recipiente debe ser plano, lo cual se verifica al no poder insertar una laminilla de 0.5mm entre el borde y la placa de verificación.



Figura 2.2.6. Recipiente o unidad de medición.



Figura 2.2.7. Recipiente de metal con elementos de sujeción.

Su capacidad debe estar de acuerdo con la siguiente tabla:

<b>Tabla 2.2.1. Capacidad Mínima del Recipiente Recomendadas</b>		
<b>Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso</b>		<b>Capacidad del Recipiente</b>
<b>mm</b>	<b>Pulgadas</b>	<b>Litros</b>
25	1	5
38	1 1/2	10
50	2	14
75	3	28

**NOTA:** La capacidad del recipiente puede tener una tolerancia de  $\pm 5\%$  respecto a su capacidad nominal, es decir, si usas una olla de 10 L, los 10 L por 0.05 (5% / 100) es igual a 0.5 L, es decir que la capacidad de tu recipiente deberá ser 9.5 L como mínimo y como máximo 10.5 L.

**NOTA:** En cuanto facilidad se trate, se puede utilizar el recipiente que se usa para hacer la prueba de contenido de aire por el método de presión, siempre y cuando este cumpla con las capacidades mínimas.

### Varilla de Compactación

Es una barra de acero de sección circular, recta, lisa y con uno o los dos extremos de forma semiesférica de  $16 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ mm}$  de diámetro y  $600 \pm 30 \text{ mm}$  de longitud.



Figura 2.2.8. Varilla de compactación con punta semiesférica.

- **Materiales Auxiliares**

- Esponja
- Cucharón
- Grasa
- Agua Potable o Destilada
- Laminilla de un espesor de 0.5mm

- **Preparación y Acondicionamiento de la Muestra**

La muestra se obtiene de acuerdo en la norma NMX-C-161-ONNCCE.

En olla estacionaria, una vez terminado el mezclado, esta se debe vaciar de preferencia en carretilla no menor de 15L para poder contener el tamaño requerido de la muestra, impermeable, no reactivo y en forma que una vez vaciado la mezcla en él se pueda remezclar con un cucharón o pala asegurando la homogeneidad de la mezcla.

La selección del método de compactación debe basarse en el revenimiento y del recipiente a utilizar.

En recipientes de capacidad menor de 10 L el método de compactación debe ser varillado para evitar pérdida excesiva de aire incluido. En recipientes de



10 L de capacidad o mayores, el método de compactación puede ser por varillado o por vibración interna.

Debe varillarse el concreto que tenga un revenimiento mayor de 80 mm. Los revenimientos de 80 mm a 30 mm pueden varillarse o vibrarse. Deben vibrarse los concretos con revenimientos menores de 30 mm.

- **Método de Ensayo**

El recipiente debe de estar húmedo de forma que este no aporte agua a la mezcla. Colocar el concreto en tres capas de aproximadamente igual volumen. Compactar cada capa con el extremo redondeado de la varilla con 25 penetraciones, manteniendo siempre recta la varilla, recomendando que las penetraciones sean en forma de espiral hacia el centro, en recipientes de 14 L o menores, y con 50 penetraciones en recipientes de 28 L.

Y después de varillar cada capa, para eliminar el aire contenido y las oquedades que produce la varilla, golpear las paredes alrededor del molde con el mazo el mínimo de veces necesarias (se recomienda que sean entre 12 o 15 golpes y a la altura de la capa que se está trabajando) para que el agregado grueso comience a desaparecer de la superficie y esta tenga un aspecto ligeramente liso. Un exceso de golpes puede producir segregación.

Varillado

1. En la **primera capa** la varilla debe penetrar todo su espesor pero sin golpear con fuerza el fondo del recipiente.

**NOTA:** Esto se asegura midiendo antes la varilla por fuera sobre el recipiente con el objeto de tener una idea de hasta donde penetrar.



Figura 2.2.9. Aproximadamente la altura de la primera capa.



Figura 2.2.10. Realizar las penetraciones con la varilla recta.



Figura 2.2.11. Como se ve antes de realizar los golpes con el mazo.



Figura 2.2.12. Como se debe de ver después de realizar los golpes con el mazo.

2. En la segunda capa, en las compactaciones la varilla debe penetrar 20 mm aproximadamente la capa inferior.

**NOTA: Esto se asegura midiendo antes la varilla por fuera sobre el recipiente con el objeto de tener una idea de hasta donde penetrar.**



Figura 2.2.13. Aproximadamente la altura de la segunda capa.



Figura 2.2.14. Realizar las penetraciones con la varilla recta.



Figura 2.2.15. Como se ve antes de realizar los golpes con el mazo.



Figura 2.2.16. Como se debe de ver después de realizar los golpes con el mazo.

3. En la tercera capa, en las compactaciones la varilla debe penetrar 20 mm aproximadamente la capa inferior. Si a consecuencia de la compactación en la última capa, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde **para recipientes de 14 L o menos**, en la penetración Numero 10 o 20, se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo y **para recipientes de más de 14 L**, en la penetración Numero 20 o 40.

**NOTA: Esto se asegura midiendo antes la varilla por fuera sobre el recipiente con el objeto de tener una idea de hasta donde penetrar.**



Figura 2.2.17. Aproximadamente la altura de la tercera capa.

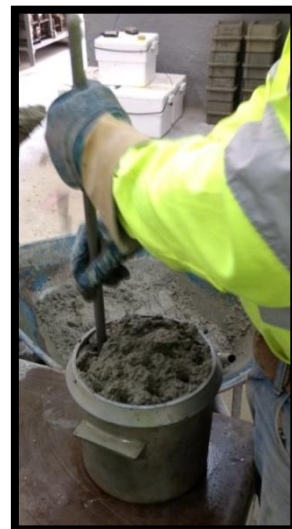


Figura 2.2.18. Realizar las penetraciones con la varilla recta.



Figura 2.2.19. Como se ve antes de realizar los golpes con el mazo.



Figura 2.2.20. Como se debe de ver después de realizar los golpes con el mazo.

Terminada la compactación el recipiente no debe contener exceso o falta de concreto. El contenido óptimo es aquel en que el concreto sobresale unos 3 mm aproximadamente sobre el borde superior del recipiente.

#### Vibración Interna

- Llenar el recipiente en dos capas de igual volumen aproximadamente y vibrar cada capa.
- Insertar el vástago del vibrador en tres puntos diferentes de cada capa evitando tocar los lados del recipiente.
- Durante la compactación de la primera capa, no se debe apoyar o tocar con el vibrador el fondo.
- En la compactación de la segunda capa, el vibrador debe penetrar en la capa anterior 20 mm aproximadamente.
- Al extraer el vástago, debe ser lentamente con el fin de evitar dejar burbujas de aire en la muestra.
- El tiempo de vibrado es el suficiente tan pronto como la superficie del concreto se vuelve relativamente lisa y el agregado grueso tiende a desaparecer.

Se debe tener cuidado de no sobrevibrar ya que esto causa segregación y pérdida apreciable de cantidad de aire.

Terminada la compactación el recipiente no debe contener exceso o falta de concreto. El contenido óptimo es aquel en que el concreto sobresale unos 3 mm aproximadamente sobre el borde superior del recipiente.



## Enrase

1. Al terminar la compactación y los golpes con el mazo, colocar la placa enrasadora sobre la superficie del concreto cubriendo 2/3 del ella y haciendo presión se avanza con movimientos de sierra hasta que la placa quede afuera del recipiente.



Figura 2.2.21. Sujetar la placa enrasadora con ambas manos.



Figura 2.2.22. Colocación de la placa a 2/3 de la superficie.



Figura 2.2.23. Avanzando con movimiento de sierra hacia abajo.



Figura 2.2.24. Terminar los movimientos de sierra hasta que quede afuera la placa.

2. Colocar nuevamente la placa sobre la superficie del concreto cubriendo los 2/3 ya enrasados y presionando la placa se avanza con movimientos de sierra, terminando de enrasar el 1/3 faltante hasta que se deslice completamente fuera del recipiente.

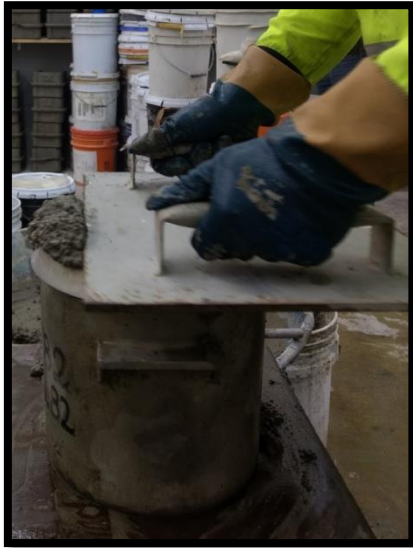


Figura 2.2.25. Colocación de la placa a 2/3 de la superficie.



Figura 2.2.26. Avanzando con movimiento de sierra, enrasando el 1/3 faltante.

3. Se debe tomar el excedente de la lechada que quede en el borde del recipiente para llenar posibles oquedades que tenga la superficie.

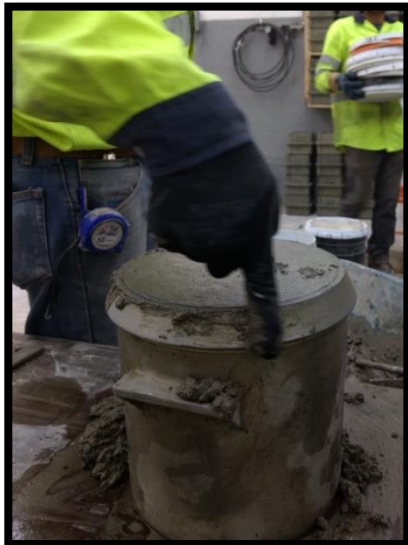


Figura 2.2.27. Tomar el excedente del borde el recipiente.



Figura 2.2.28. Llenar las oquedades que queden del enrase.

4. Finalmente se da el mínimo de pasadas inclinando el canto de la placa hasta dejar un terminado uniforme, evitando el sangrado del concreto, hasta obtener el brillo acuoso y un terminado liso en la superficie del concreto.

**NOTA: Recomendable pasar la placa en varias direcciones, con el fin de asegurar un enrase uniforme.**



Figura 2.2.29. Inclinando el canto de la placa.

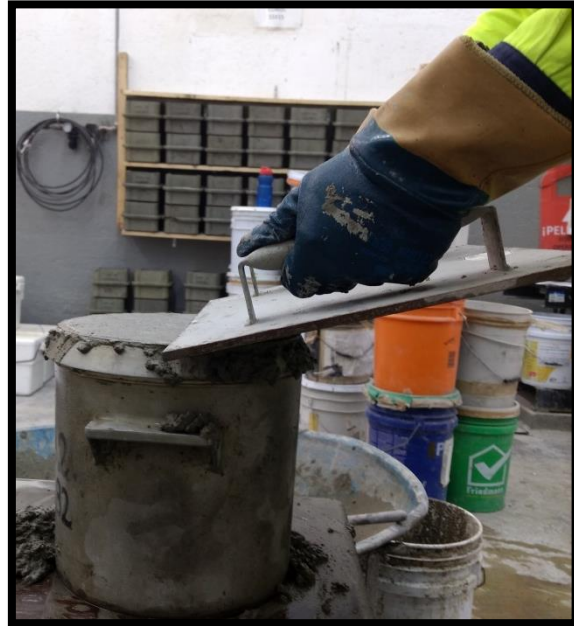


Figura 2.2.30. Enrasando en una dirección.



Figura 2.2.31. Enrasando en otra dirección.



Figura 2.2.32. Aproximadamente así se debe de ver un enrase final.



### Determinación de la masa

Después de enrasar, limpiar todo el exceso del concreto adherido en el exterior del recipiente, principalmente de los elementos de sujeción de la olla.

Y después determinamos la Masa Bruta (Masa de recipiente + Masa de concreto) cuidando que la báscula se encuentre nivelada y fuera de corrientes de aire.



Figura 2.2.33. Limpiar los excesos de concreto que queden.



Figura 2.2.34. Libre de excesos.



- **Calculo y Expresión de los Resultados**

Factor del Recipiente

1. Se verifica que tanto el recipiente como la placa de verificación cumplan con la planicidad, la cual se realiza poniendo la placa de verificación encima del recipiente y hacer pasar la laminilla de 0.5mm entre los dos, si esta no pasa es que cumplen con la planicidad.



Figura 2.2.35. Placa de verificación encima del recipiente.



Figura 2.2.36. Esto con el fin de checar la planicidad del recipiente.

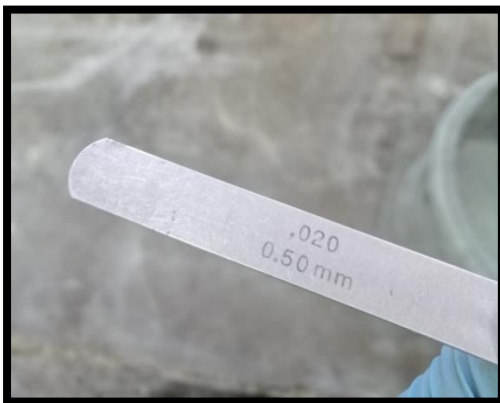


Figura 2.2.37. Laminilla de 0.50 mm de espesor.



Figura 2.2.38. Tratando de hacer pasar la laminilla entre el recipiente y la placa.

2. Se pesa el recipiente vacío y la placa de verificación, con una precisión de 0.3%, para obtener la Tara o Masa del recipiente ( $M_r$ ).

Para este caso la Masa del recipiente o Tara es de 3.34 kg y el de la placa de verificación es de 2.12 kg



Figura 2.2.39. Obteniendo el peso del recipiente



Figura 2.2.40. Obteniendo el peso de la placa de verificación.

3. Llenar el recipiente de agua con agua a temperatura ambiente, pero antes de llegar al borde se debe colocar en el borde superior grasa gruesa, para evitar fugas de agua.



Figura 2.2.41. Colocando grasa en todo el borde superior del recipiente.



Figura 2.2.42. Todo el borde superior con grasa.

4. Después de colocar la grasa:
  - A. Colocar el recipiente sobre la báscula.
  - B. Llenar el recipiente con agua potable a temperatura ambiente
  - C. Deslizar lentamente la placa de verificación en modo de que esta ocupe todo el borde superior
  - D. Tratar de que no se queden burbujas de aire y si ese es el caso, eliminar las burbujas y el exceso de agua con una pipeta o pizeta.



Figura 2.2.43. Deslizando lentamente la placa de verificación.

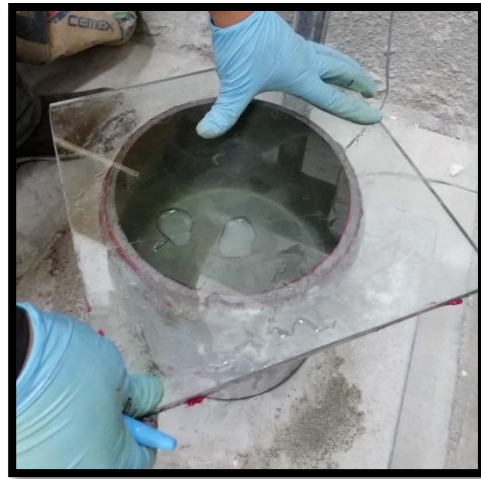


Figura 2.2.44. Burbujas de aire atrapado.



Figura 2.2.45. Eliminando las burbujas con la pipeta.

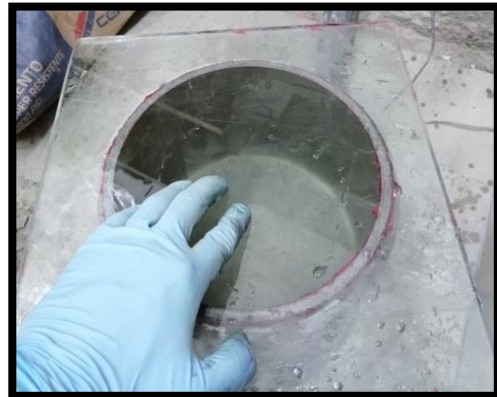


Figura 2.2.46. Recipiente llenado libre de aire.

E. Limpiar todo el exceso de agua que se cayó en la báscula y en la placa de verificación, así como la grasa en exceso. Para así obtener el peso del recipiente + agua + placa. Con una precisión del 0.3 %

Para este caso el peso del recipiente + agua + placa = 12.40 kg



Figura 2.2.47. Limpiando el exceso de agua y grasa.



Figura 2.2.48. Libre de exceso que no afecte el peso.

F. Medir la temperatura del agua y determinar la masa volumétrica de la misma según su temperatura, de acuerdo a la siguiente tabla:

<b>Tabla 2.2.2. Temperatura y Masa Volumétrica del Agua</b>		
<b>Temperatura</b>		<b>Masa Volumétrica</b>
<b>K</b>	<b>°C</b>	<b>kg/m3</b>
288	15	999.10
291	18	998.58
294	21	997.95
296	23	997.50
297	24	997.30
300	27	996.52
302	29	995.97





Figura 2.2.49. Obteniendo la temperatura del agua.

Para este caso se obtuvo una temperatura de 20°C, por lo cual este dato no está en la tabla proporcionada por la norma. Por lo cual se recurre a la interpolación:

$$\text{Fórmula de Interpolación: } Mv = \left( \frac{Mv_2 - Mv_1}{T_2 - T_1} \right) (T - T_1) + Mv_1. \quad \text{Ecuación 2.2.1}$$

Donde:

Mv = Masa Volumétrica Requerida

Mv1 = Masa Volumétrica Menor

Mv 2 = Masa Volumétrica Mayor

T = Temperatura Requerida

T 1 = Temperatura Mayor

T 2 = Temperatura Menor

Se encuentra el dato de la masa volumétrica que le correspondería a 20°C

$$Mv = \left( \frac{998.58 - 997.95}{18 - 21} \right) (20 - 21) + 997.95$$

$$\mathbf{Mv = 998.16 \text{ kg/m}^3}$$

G. Calcular el factor del recipiente dividiendo la masa volumétrica del agua, entre la masa de la muestra requerida para llenarlo.

$$F = \frac{Mv}{Mm}. \quad \text{Ecuación 2.2.2.}$$

Dónde:

F = Factor del Recipiente, en 1/m<sup>3</sup>.

Mv = Masa Volumétrica del agua, en kg/m<sup>3</sup>.

Mm = Masa de la muestra requerida para llenar el recipiente, en kg.

Para esto se va a encontrar el peso total del agua necesaria para llenar el recipiente. Por lo cual se va a restar al dato del peso del recipiente + agua + placa que nos dio de 12.40 kg, el dato de la masa del recipiente y la placa que son 3.34 kg y 2.12 kg, respectivamente.

$$Mm = 12.40 \text{ kg} - 3.34 \text{ kg} - 2.12 \text{ kg} = 6.94 \text{ kg}$$

$$F = \frac{998.16 \text{ kg/m}^3}{6.94 \text{ kg}} = 143.827 \left( \frac{1}{\text{m}^3} \right)$$

### Masa Unitaria

Calcular la masa neta del concreto en kg, restando, la masa bruta (Mb) menos la masa del recipiente o la tara (Mr). Calcular la Masa Unitaria (Mu), multiplicando la masa neta del concreto por el factor del recipiente, utilizando la siguiente formula:

$$Mu = (Mb - Mr) \times F. \quad \text{Ecuación 2.2.3.}$$

Donde:

Mu = Masa unitaria (masa por metro cubico de concreto) obtenida en la mezcla, en kg/m<sup>3</sup>.

Mb = Masa bruta (masa del concreto + masa del recipiente), en kg.

Mr = Masa del recipiente, en kg.

F = Factor del recipiente, en 1/m<sup>3</sup>.

### Rendimiento Teórico

Es el volumen real de concreto obtenido por la mezcla, este se obtiene dividiendo la masa total de todos los materiales incluidos en la mezcla (M<sub>1</sub>), el cual es la suma de las masas del cemento , agregado fino y grueso, agua y cualquier otro solido o líquido que se adicione, entre, la masa unitaria (Mu) determinada.

$$R = \frac{M_1}{Mu}. \quad \text{Ecuación 2.2.4.}$$

Dónde:

R = Volumen real de concreto obtenido por la mezcla, en m<sup>3</sup>.

M1 = Masa total de todos los materiales incluidos en una mezcla, en kg.

Mu = Masa unitaria obtenida en la mezcla, en kg/m<sup>3</sup>.

### Rendimiento Relativo

Es la relación entre el volumen real de concreto obtenido y el volumen de diseño teórico de una mezcla.

$$Rr = \frac{R}{Vt}. \quad \text{Ecuación 2.2.5.}$$

Donde:

Rr = Rendimiento Relativo

R = Volumen Real de Concreto obtenido por la mezcla, en m<sup>3</sup>.

Vt = Volumen de Concreto Teórico que produce una mezcla en m<sup>3</sup>.

**NOTA: Un valor de rendimiento relativo mayor de 1.0 indica un exceso de concreto producido, mientras que un valor menor que 1.0 indica que la mezcla de diseño resulto “escasa”.**

### **Ejemplo:**

Se quiere producir 1 m<sup>3</sup> de concreto (Volumen Teórico) y de nuestro diseño de mezcla obtuvimos la siguiente dosificación:

Agua = 151 kg/m<sup>3</sup>

Cemento = 260 kg/m<sup>3</sup>

Grava = 922.5 kg/m<sup>3</sup>

Arena = 933.9 kg/m<sup>3</sup>

Suma Total o Masa Unitaria Teórica = 2,267.4 kg

De la cual al correr la mezcla, se pesó el recipiente con concreto y se obtuvo una masa bruta (Mb) 19.95 kg y la Tara o Masa del recipiente es de 3.88 kg y su Factor es 141.882.

Obtener la Masa Unitaria Real, Rendimiento Teórico, Rendimiento Relativo y Contenido de Aire

1. Se obtiene la Masa Unitaria (Mu)

$$Mu = (Mb - Mr) \times F$$

$$Mu = (20.89 \text{ kg} - 3.88 \text{ kg}) \times 141.882$$

$$\mathbf{Mu = 2,413.41 \text{ kg/m}^3}$$

2. Se obtiene el Rendimiento Teórico (R)



$$R = \frac{M_1}{Mu}$$

$$R = \frac{2,267.40 \text{ kg}}{2,413.41 \text{ kg/m}^3}$$

$$R = 0.9395 \text{ m}^3$$

3. Se obtiene el Rendimiento Relativo (Rr)

$$Rr = \frac{R}{Vt}$$

$$Rr = \frac{0.9395 \text{ m}^3}{1 \text{ m}^3}$$

$$Rr = 0.9395 \text{ m}^3$$

Es decir que tu mezcla de diseño resulto escasa y por consiguiente se le esta entregando al cliente menos volumen de lo solicitado.

- **Precisión**

Precisión de un solo operador.

A. La desviación estándar máxima para un operador al efectuar el ensayo de masa unitaria es de 10.4 kg/m<sup>3</sup>.

B. Dos determinaciones obtenidas por un mismo operador no deben diferir en más de 29.6 kg/m<sup>3</sup>.

Precisión de varios operadores.

A. La desviación estándar máxima para varios operadores al efectuar el ensayo de masa unitaria es de 13.1 kg/m<sup>3</sup>.

B. Dos determinaciones obtenidas por diferentes operadores no deben diferir en más de 37.0 kg/m<sup>3</sup>.

**NOTA: La desviación estándar es una medida que indica que tan dispersos están los datos con respecto al promedio, es decir la fiabilidad de los datos estadísticos. Si se obtiene una desviación alta, indica que hay un mayor margen de error a lo esperado.**

Esta se calculó con la siguiente formula:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{N}}. \quad \text{Ecuación 2.2.6.}$$

Donde:

S = Desviación Estándar

X = Un valor del conjunto de datos.

$\mu$  = Promedio del conjunto de datos.

N = Número de datos.

**Ejemplo:**

Un laboratorista obtiene las siguientes masas unitarias: 2,237 kg/m<sup>3</sup>, 2,253 kg/m<sup>3</sup>, 2,231 kg/m<sup>3</sup>, 2,212 kg/m<sup>3</sup> y 2,243 kg/m<sup>3</sup>. Determinar si cumple con la precisión de la norma.

1. Calcular el promedio.

$$\mu = \frac{2237 + 2253 + 2231 + 2212 + 2243}{5} = 2,235.20 \text{ kg/m}^3$$

2. Elevar al cuadrado la distancia entre cada dato y el promedio.  $(x-\mu)^2$ .

<b>Tabla 2.2.3.</b>		
<b>x</b>	<b><math>(x - \mu)^2</math></b>	<b>Resultado</b>
2,237	$(2,237 - 2,235.2)^2$	3.24
2,253	$(2,253 - 2,235.2)^2$	316.84
2,231	$(2,231 - 2,235.2)^2$	17.64
2,212	$(2,212 - 2,235.2)^2$	538.24
2,243	$(2,243 - 2,235.2)^2$	60.84

3. Obtener la desviación estándar

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \mu)^2}{N}} = \sqrt{\frac{3.24 + 316.84 + 17.64 + 538.24 + 60.84}{5}} = \sqrt{187.36} = \mathbf{13.69 \text{ kg/m}^3}$$

Aunque este operador cumple con el inciso B de precisión, este no cumple con el inciso A. Esto quiere decir que este laboratorista tiene un margen de error muy alto y no cumple con la precisión de la norma.

- Informe del Ensayo
  - Datos del concreto muestreado.
  - Masa de los materiales por mezcla (cuando se requiere).
  - Masa unitaria del concreto calculada en kg/m<sup>3</sup>.
  - Rendimiento del concreto en m<sup>3</sup> o en % (cuando se requiere).
  - La masa unitaria se debe expresar con una aproximación de 1.0 kg/m<sup>3</sup>.
  - El rendimiento se debe reportar con una aproximación de 0.01 de m<sup>3</sup>.

## 2.3 Prueba de Contenido de Aire

Esta obedece a la norma **NMX-C-157-ONNCCE-2010**, “Industria de la Construcción-Concreto-Determinación del Contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método de Presión”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Determina el contenido de aire en el concreto fresco, con base en la observación del cambio en el volumen del concreto con respecto al cambio de presión.

Este método es adecuado para usarlo en concretos y morteros elaborados con agregados de masa específica igual o mayor a  $2.1 \text{ kg/m}^3$ .

No es aplicable para concretos con agregados ligeros que tengan burbujas de aire en el interior o aquellos con alta porosidad, tampoco se debe aplicar para concretos de bajo revenimiento por ser poco plásticos.

- **Equipo**

- Medidores de Aire Tipo B

- Consiste de un recipiente y una cubierta de ensamble.

- El principio de operación de este medidor consiste en inyectar una presión conocida a un recipiente, lo cual al liberar la presión, la diferencia de presiones es igual al contenido de aire.

- El alcance mínimo del instrumento debe ser para un rango de contenido de aire de 6%, con graduaciones que permitan tomar lecturas al 0.1%.

- Recipiente Medidor

- Debe ser cilíndrico, de acero u otro material rígido no reactivo con la pasta del cemento.

- Con un diámetro entre 0.75 y 1.25 su altura y una capacidad mínima de 6.0 L.

- Debe tener una ceja construida, para que al cerrar la tapa por medio de mordazas, esta resista la presión entre el recipiente y la tapa.

- La superficie interior, la de los bordes y las cejas deben tener un acabado maquinado y pulido.



Figura 2.3.1. Recipiente medidor de capacidad de 7 litros.



Figura 2.3.2. Recipiente con acabado maquinado y pulido.

### Cubierta

La cubierta debe ser de acero u otro material no reactivo con la pasta de cemento, debe tener cejas construidas para resistir la presión entre el recipiente y la tapa. Debe estar provista de un sistema de mordazas apropiado para fijarse al recipiente y que selle las cejas de la cubierta herméticamente en él. La cubierta debe estar provista de las siguientes válvulas:

1. Válvula A de purga de agua.
2. Válvula B para escape de aire del recipiente.
3. Válvula C de escape de aire en la cámara de presión, para ajuste del manómetro.
4. Válvula D para paso de aire de la cámara de presión al recipiente (válvula principal de aire).

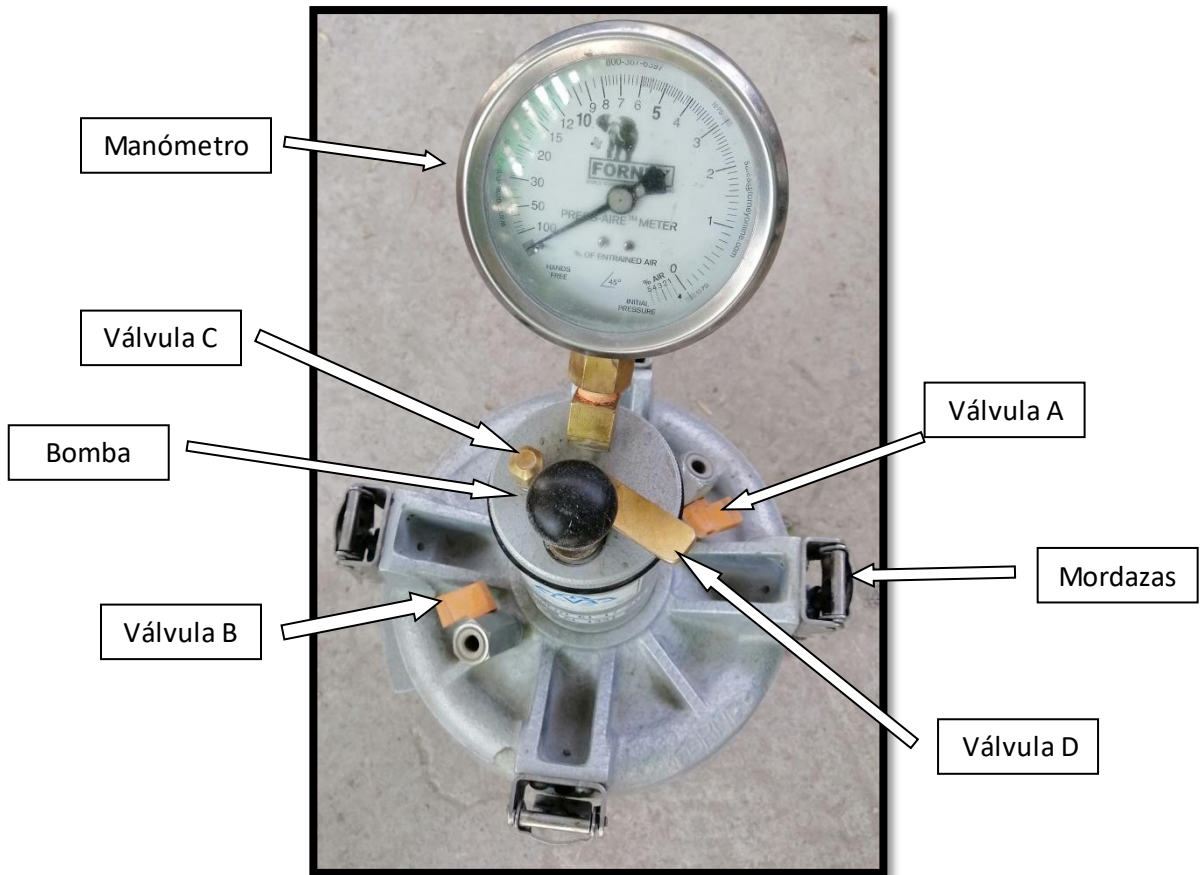


Figura 2.3.3. Cubierta de Medidor Tipo B.

- **Procedimiento para Determinar el Contenido de Aire**

Varillado

1. Se llena el recipiente en 3 capas iguales, se compactan con la varilla, cada una de ellas, 25 veces consecutivas. De la misma forma como se muestra en el apartado 2.2, varillado, para la determinación de Masa Unitaria.

Enrase

2. Se quita el exceso de concreto con una regla metálica. Se pasa la regla en forma de sierra con el fin de eliminar el exceso que se tiene, las veces que sean necesarias y se enrasan cuidadosamente los bordes superiores del recipiente. Se limpian las cejas del recipiente para que la cubierta, al colocarse, tenga un cierre hermético.



Figura 2.3.4. Preparando el enrase.



Figura 2.3.5. Eliminando excesos.



Figura 2.3.6. Enrasando en forma de sierra.



Figura 2.3.7. Aproximadamente a si se debe ver un enrase final.

### Colocación de Cubierta

1. Se monta la cubierta y se cierran las mordazas en forma de cruz para que este sea un cierre uniforme



Figura 2.3.8. Montando cubierta en recipiente.

2. Se cierra la válvula principal de aire (válvula D), y se abre la válvula de purga para inyectar agua (válvula A) y la válvula de escape de aire (válvula B). Se inyecta agua por la válvula A hasta que salga agua tanto por la válvula A y B y se mantenga constante. Golpear suavemente el recipiente hasta que todo el aire se expulse del mismo.

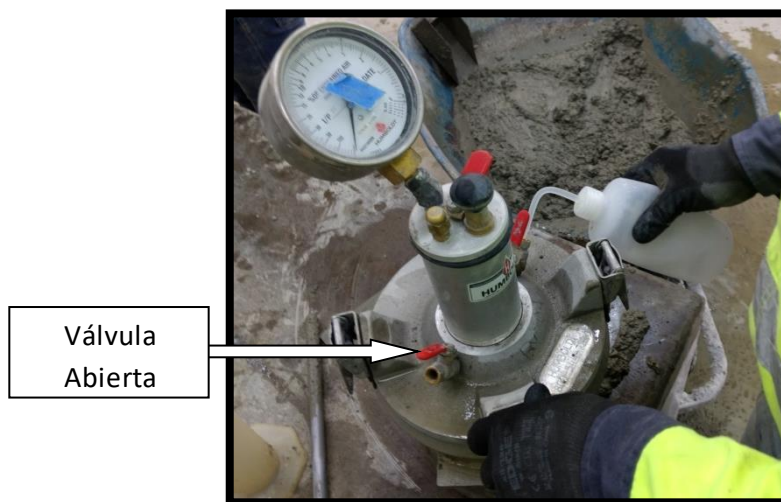


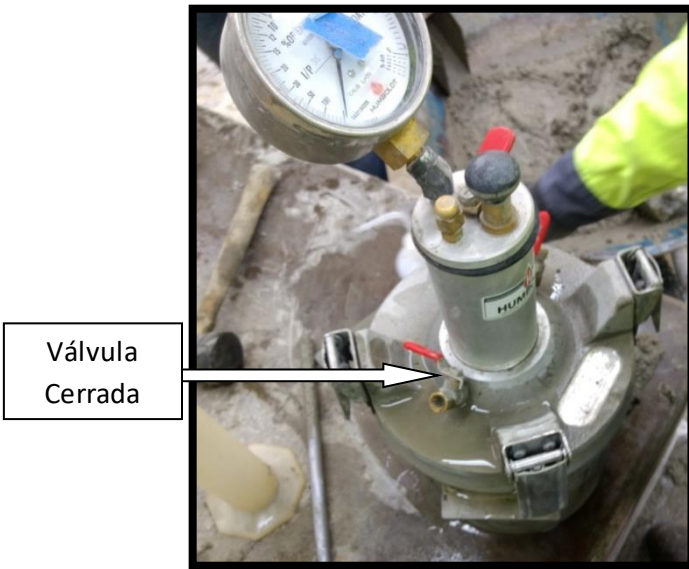
Figura 2.3.9. Inyectando agua por la Válvula A.



Figura 2.3.10. Agua saliendo por la Válvula B.



3. Se cierra la válvula de purga A y se bombea aire dentro de la cámara hasta el indicar de calibración. Esperar unos segundos para que se enfríe el aire comprimido y se estabilice la presión inicial por bombeo. (Recomendación, se le dan unos pequeños golpes al manómetro para que este se ajuste bien al indicador de calibración).



4. Se cierra la válvula B, para mantener cerradas las válvulas tanto A y B. y se acciona la válvula de escape de aire C. Y se golpean los lados del recipiente rápidamente para distribuir las presiones internas. Se espera hasta que se estabilice el indicador. Esta lectura representa el contenido en % de aire en el concreto.





Figura 2.3.14. Se cierra la válvula B y se acciona la válvula C.



Figura 2.3.15. Se golpean los lados del recipiente para distribuir presiones.

**NOTA:** Para quitar la cubierta, se abren las válvulas A y B, para liberar la presión. Se abren las mordazas igual en forma de cruz, y se levanta la cubierta en forma que esta ya no esté en contacto con el recipiente y se acciona la válvula C para terminar de liberar la presión que quede en la cámara.

- **Informe de Prueba**

El informe debe incluir por lo menos lo siguiente:

1. Fecha de la elaboración de la prueba
2. Características del concreto muestreado
3. Porcentaje del contenido de aire en el concreto, con aproximación al número entero.
4. Nombre y firma de quien autoriza

## 2.4 Prueba de Temperatura

Esta obedece a la norma **NMX-C-435-ONNCCE-2010**, “Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Temperatura del Concreto Fresco”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Determina la temperatura del concreto fresco y es aplicable para verificar el cumplimiento de un requisito específico de la temperatura del concreto hidráulico.

- **Equipo**

  - Vástago

De material no absorbente y suficientemente grande para proveer por lo menos 75 mm de concreto en todas direcciones alrededor del sensor del dispositivo de medición de temperatura.



Figura 2.4.1. Vástago de termómetro.

  - Dispositivo de Medición de Temperatura

Con una resolución de  $\pm 1.0$  K ( $\pm 1.0^\circ\text{C}$ ) o menos, con un intervalo mínimo de 273 K a 323 K ( $0^\circ\text{C}$  a  $50^\circ\text{C}$ ). Este dispositivo debe ser calibrado anualmente.



Figura 2.4.2. Dispositivo de lectura con intervalo de 0°C a 50°C.

- **Colocación del Dispositivo de Temperatura**

Sumerja el vástago en el concreto fresco de forma vertical un mínimo de 75 mm y presione suavemente la superficie del concreto con la mano alrededor del dispositivo de medición de temperatura para que la temperatura ambiente no afecte la lectura.



Figura 2.4.3. Colocación del vástago en el concreto intentando que este quede lo más vertical posible.

- **Lectura de la Temperatura**

Dejar el dispositivo por un mínimo de 2 min o hasta que la lectura se estabilice, lo cual es que no varíe en más de 0.5 °C en 1 min.

La medición de la temperatura se debe realizar a cabo de los primeros 5 min después de obtenida la muestra de concreto.

- **Precisión**

*Precisión de un solo operador.*

A. La desviación estándar máxima para un operador al efectuar el ensayo es de 0.3°C.

B. Dos determinaciones obtenidas por un mismo operador no deben diferir en más de 0.8°C.

*Precisión de varios operadores.*

A. La desviación estándar máxima para varios operadores al efectuar el ensayo es de 0.7°C.

B. Dos determinaciones obtenidas por diferentes operadores no deben diferir en más de 2.0°C.

En ambos casos las determinaciones de temperatura deben realizarse durante los primeros 5 min después de haber tomado la prueba.

- **Informe de Ensayo**

El informe debe incluir por lo menos lo siguiente:

1. La temperatura medida con aproximación de 1.0°C.
2. Fecha
3. Identificación de la muestra
4. Referencia del método.

## 2.5 Elaboración de Especímenes para Ensayo

Esta obedece a la norma **NMX-C-159-ONNCCE-2016**, “Industria de la Construcción-Concreto-Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Se establecen los procedimientos para elaborar y curar ya sea en obra o en laboratorio, los especímenes de concreto utilizados para los ensayos.

Es aplicable a concretos cuyos tamaño máximo nominal de agregado no exceda de los 50 mm y cuya fluidez permita compactarlos por medio de varillado o por vibradores de inmersión o mesa vibratoria y no es aplicable para concretos autoconsolidables.

- **Equipo**

Moldes en General

Los moldes y accesorios deben ser de acero, fierro fundido u otro material no absorbente y no reactivo con el concreto.

Estos deben conservar su forma y dimensiones bajo condiciones severas de uso y ser impermeables.

En caso de ser 2 piezas, deben contar con dispositivos para sujetar firmemente la placa base con las paredes laterales de los moldes.

Moldes Cúbicos

A. Las paredes deben ser perpendiculares entre sí con una desviación máxima de  $0.5^\circ$ . Es decir que cada esquina debe tener un ángulo de  $90^\circ \pm 0.5^\circ$ .

B. En todas las dimensiones se acepta una variación máxima de 1% de su dimensión nominal. Es decir que si es un molde de 10 cm x 10 cm, esto quiere decir que  $10 \text{ cm} \times 0.01$  (1% / 100) es igual a 0.1 cm, esto significa que tu molde debe tener dimensiones mínimas de 9.9 cm y máximas de 10.1 cm.

C. Sus caras deben ser planas aceptando desviaciones de hasta 0.05mm.





Figura 2.5.1. Molde cúbico por dentro.



Figura 2.5.2. Molde cúbico por fuera.

### Moldes Cilíndricos Verticales

A. Las dimensiones del molde no deben variar de los valores especificados, en más de 1% en su diámetro, ni en 1 % del valor nominal en su altura. Esto quiere decir que en un cilindro de 15 cm x 30 cm, en cuestión del diámetro, los 15 cm x 0.01 (1%/100) es igual a 0.15 cm, esto significa que tu dimensión mínima en diámetro es igual a 14.85 cm y la máxima es de 15.15 cm, y lo mismo para la altura.

B. La base debe ser del mismo material que el de las paredes del molde, con planos lisos.

C. Con una longitud igual al doble de su diámetro.



Figura 2.5.3. Molde cilíndrico vertical.

### Moldes Prismáticos

- A. Los moldes para vigas deben ser de forma prismática.
- B. La superficie interior de los moldes debe ser lisa y estar libre de imperfecciones.
- C. Los lados deben formar ángulos rectos entre sí con una tolerancia de  $\pm 5^\circ$  y deben ser planos.
- D. En todas las dimensiones la variación máxima en longitudes no de exceder de  $\pm 3$  mm.
- E. Las vigas para flexión deben tener una longitud por lo menos de 50 mm mayor que 3 veces el peralte, en la posición de ensaye.
- F. La viga estándar debe ser de 150 mm x 150 mm de sección transversal.

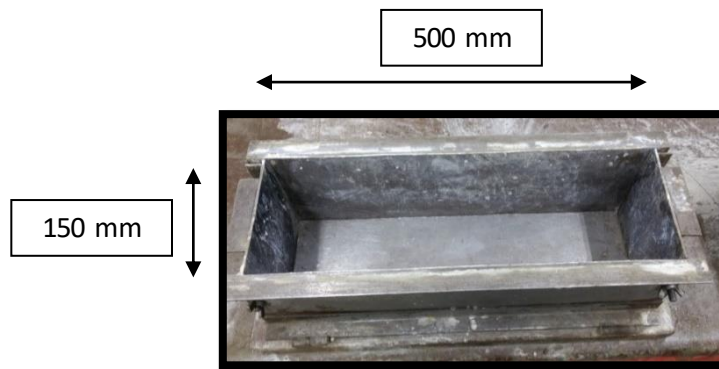


Figura 2.5.4. Molde prismático por dentro.



Figura 2.5.5. Molde prismático por fuera.

### Varillas de Compactación

Dependiendo las dimensiones de los moldes se especifican dos tamaños de varillas, cada una debe consistir en una barra lisa cilíndrica de acero, cuando al menos con un extremo semiesférico.



1. Varilla Larga

Consiste en una barra lisa de  $16 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ mm}$  de diámetro y longitud de  $600 \text{ mm} \pm 30 \text{ mm}$ .

2. Varilla Corta

Consiste en una barra lisa de  $10 \text{ mm} \pm 1.0 \text{ mm}$  de diámetro y longitud de  $300 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$ .



Figura 2.5.6. Comparación de tamaños entre varilla larga y corta.

Vibradores Externos

Estos pueden ser de 2 tipos: mesa o plancha. Su frecuencia de vibración no debe ser menor de 3600 vibraciones por min y de preferencia mayor. Se debe contar con dispositivos adecuados para fijar firmemente los moldes al aparato vibrador.

Enrasador

Regla metálica con bisel de 200 mm de longitud mínima



Figura 2.5.7. Enrasador metálico.

### Mazo

Con cabeza de neopreno y mango de madera, con una masa de 600 g  $\pm$  200 g.



Figura 2.5.8. Mazo con cabeza de neopreno.

- **Materiales Auxiliares**
  1. Desmoldante no Reactivo (por ejemplo: aceite mineral emulsificado).
  2. Pala.
  3. Cucharón.
  4. Cuchara de Albañil.
  5. Recipiente con capacidad suficiente para contener la muestra (carretilla).
  6. Material Impermeable (lona, lamina, etc) para proteger la muestra.

- **Preparación y Acondicionamiento de las Muestras**

1. Especímenes Cúbicos

Se elaboran para la determinación de la resistencia a compresión

2. Especímenes Cilíndricos

Se deben de elaborar para los ensayos a compresión, módulo de elasticidad, flujo plástico y de tensión por compresión diametral.

3. Especímenes Prismáticos

Especímenes tales como vigas para el ensayo a flexión y barras para ciclos de congelación-deshielo, adherencia, cambios de longitud, cambios de volumen.

- **Número de Especímenes**

La cantidad de especímenes y de mezclas de ensayo depende de los objetivos establecidos. En general se deben preparar dos o más especímenes para cada edad y para cada condición de ensaye.

- **Condiciones Ambientales**

En el laboratorio la temperatura se debe mantener uniforme, de preferencia entre 20 °C y 25 °C, durante la fabricación del concreto y elaboración de especímenes.

- **Elaboración del Espécimen**

1. Sítio de Elaboración

Elaborar los especímenes en el lugar en donde se almacenaran durante las primeras 24 hrs. Se colocan en una superficie rígida, plana y horizontal, que no esté sujeta a vibraciones u perturbaciones. Se deben evitar los movimientos bruscos.

2. Engrasado

Se debe pasar por todo el interior del molde y la parte superior exterior el desmoldante pero lo menos que se pueda ya que este puede afectar a las propiedades de la mezcla

3. Colocación

A. Para evitar la segregación es necesario el remezclado del concreto en la carretilla antes de la elaboración de los especímenes.

B. Se toma el concreto del recipiente de la carretilla con el cucharón de tal forma que sea representativo de la revoltura.

#### 4. Numero de Capas

Elaborar los especímenes llenando y compactando en capas de acuerdo a la siguiente tabla:

<b>Tabla 2.5.1. Número de capas de acuerdo al tamaño y profundidad del espécimen.</b>		
<b>Tipo y Tamaño de Especimen</b>	<b>Modo de Compactación</b>	<b>Numero de Capas de Aproximadamente Igual Espesor</b>
<b>Cilindros: Diámetro, mm</b>		
75 a 100	Varillado	2
150	Varillado	3
225	Varillado	4
Hasta 225	Vibrado	2
<b>Prismas: Profundidad, mm</b>		
Hasta 200	Varillado	2
Arriba de 200	Varillado	3 o más
Hasta 200	Vibrado	1
Arriba de 200	Vibrado	2 o más

#### 5. Compactación

##### Métodos de Compactación

La selección del método de compactación debe basarse en el revenimiento. Se varillan los concretos con revenimiento mayor a 8. Se varillan o se vibran los concretos con revenimiento entre 3 cm y 8 cm. Se compactan con vibración los concretos con revenimiento menor a 3 cm.

### Varillado

El número de penetración y el tipo de varilla que se debe de utilizar se especifican en la siguiente tabla:

<b>Tabla 2.5.2. Número de penetraciones de acuerdo al diámetro y área del espécimen.</b>		
<b>Cilindros</b>		
<b>Diámetro de cilindro, mm</b>	<b>Diámetro de Varilla, mm</b>	<b>Numero de Penetraciones por Capa</b>
75<150	10±2	25
150	16±2	25
200	16±2	50
250	16±2	75
<b>Vigas y Prismas</b>		
<b>Área de la superficie superior del espécimen, cm<sup>2</sup></b>	<b>Diámetro de Varilla, mm</b>	<b>Numero de Penetraciones por Capa</b>
100 o menos	10±2	25
165 a 310	10±2	Una por cada 7 cm <sup>2</sup> de superficie
320 o más	16±2	Una por cada 14 cm <sup>2</sup> de superficie

### 6. Vaciado de Concreto

A. Colocar el concreto en los moldes, el número de capas especificado, de aproximadamente igual espesor.

B. Usando un cucharón y se mueve el cucharón alrededor del borde superior del molde al descargar, para asegurar una distribución uniforme y reduciré segregación del agregado grueso.

C. Al colocar la última capa, se deja un excedente, para que después de compactar, la cantidad de concreto llene el molde rebasándolo.



Figura 2.5.9. Altura de la primera capa en espécimen prismático.



Figura 2.5.10. Altura de la segunda capa en espécimen prismático.



Figura 2.5.11. Altura de la tercera capa en espécimen cilíndrico.

D. Después del vaciado del concreto:

1. Distribuir el concreto colocado, empleando la varilla, antes de empezar las compactaciones.
2. Se varilla cada capa con el extremo redondeado de la varilla, empleando el número de penetraciones y tamaño de varilla especificado.
3. Se compactan cada capa distribuyendo las penetraciones uniformemente.
4. La primera capa se compacta en todo su espesor.
5. Y las capas subsecuentes al varillar, permitir que la varilla penetre aproximadamente 20 mm la capa inferior.



Figura 2.5.12. Compactaciones de la primera capa en espécimen cúbico con varilla corta.



Figura 2.5.13. Compactaciones de la segunda capa en espécimen prismático con varilla larga.



Figura 2.5.14. Compactaciones de la segunda capa en espécimen cilíndrico con varilla larga.



6. En el caso de los moldes prismáticos. Después de que cada capa se ha varillado, debe introducirse y sacarse rápidamente una cuchara de albañil u otra herramienta adecuada.

**NOTA: Se recomienda un mínimo 2 veces, en todo el perímetro del molde, con ello asegurando que el concreto termine de acomodarse bien.**



Figura 2.5.15. En moldes cúbicos se recomienda usar espátula.



Figura 2.5.16. En moldes prismáticos se recomienda usar cuchara de albañil.



Figura 2.5.17. Introducir y sacar la cuchara de albañil rápidamente.



7. Se debe golpear ligeramente con el mazo de hule las paredes a la altura de la capa que se está trabajando (recomendación entre 10 y 15 golpes), para eliminar donde sea posible de oquedad|es que deje la varilla.



Figura 2.5.18. Dando golpes en molde cúbico.



Figura 2.5.19. Dando golpes en molde prismático.



Figura 2.5.20. Dando golpes en molde cilíndrico.



Figura 2.5.21. Superficie sin oquedades:  
en molde cúbico.



Figura 2.5.22. Superficie sin  
oquedades en molde prismático.



Figura 2.5.23. Superficie sin oquedades en molde cilíndrico.

**NOTA: Aproximadamente así se debería de ver los especímenes después de los golpes con el mazo**

### Vibrado

Efectuar la vibración solo el tiempo necesario, es en el momento en que la superficie del concreto empieza a tener un aspecto relativamente lisa y brillante. El exceso de vibración puede producir segregación. Y el tiempo de vibrado para todos los moldes sean similares.

### Acabado

Si no se especifica el tipo de acabado, se termina la superficie con un enrasador rígido de metal. Se efectúa el acabado con el mínimo de pasadas necesarias para producir una superficie plana y uniforme.



Figura 2.5.24. Enrasado en forma de cierra. Figura 2.5.25. Así se debe de ver un buen enrasado.

### Protección después del Acabado

Para evitar la evaporación del agua en los especímenes, se deben cubrir inmediatamente después de terminados, con una membrana de plástico durable e impermeable.

### Descimbrado

Los especímenes deben ser descimbrados entre 20 h y 48 h después de su elaboración.

## Capítulo 3. Pruebas en Concreto Endurecido

### 3.1 Prueba de Resistencia a Compresión

Esta obedece a la norma **NMX-C-083-ONNCCE-2014**, “Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Determina la resistencia a la compresión del concreto y es aplicable a especímenes cilíndricos moldeados, corazones de concreto y cubos, con masa unitaria mayor a  $900 \text{ kg/cm}^2$ .

- **Equipo**
  - Dispositivo de Lectura de Carga
  - Máquina de Ensayo

Equipada con dos bloques de acero para la aplicación de la carga, con superficies de contacto que no se deformen al aplicar las cargas requeridas.

1. Uno de los bloques debe tener asiento esférico y apoyarse en la parte superior del espécimen
2. El otro bloque rígido o platina sobre el cual debe descansar el espécimen, el cual debe ser un bloque adicional que puede o no estar fijo. Para facilitar el centrado, en la platina se pueden grabar círculos concéntricos que no tengan más de 1.2 mm de ancho.

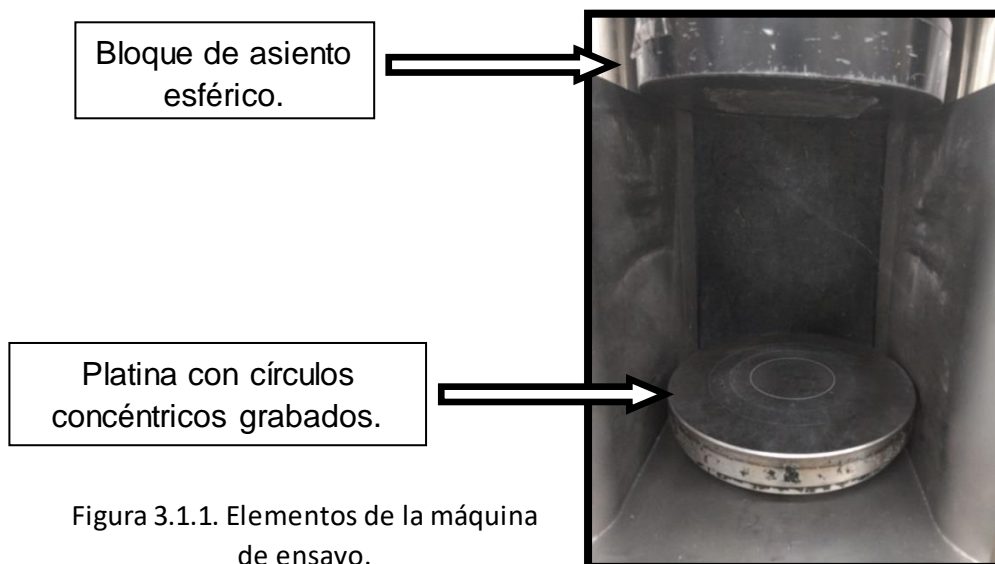


Figura 3.1.1. Elementos de la máquina de ensayo.

### El bloque rígido o platina

A. Debe ser por lo menos 3% mayor que el diámetro o diagonal del espécimen que se va a ensayar, es decir si se va a ensayar un espécimen cilíndrico con dimensiones de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, los 15 cm de diámetro por 0.03 (3% entre 100) daría 0.45 cm, esto significa que tu platina debe medir por lo menos 15.45 cm de diámetro.

B. Debe tener como mínimo 22.5 mm de espesor

C. No debe diferir de un plano en más de 0.05 mm (planicidad).

### El bloque superior de carga con asiento esférico

A. Debe ser por lo menos 3% mayor que el diámetro o diagonal del espécimen a ensayar y como máximo 100 mm mayor que el diámetro o diagonal del espécimen a ensayar.

B. Esta puede tener dimensiones mayores siempre que exista acoplamiento a la base superior del espécimen por ensayar y cumpla con no diferir del plano en más de 0.05 mm (planicidad)

C. Y puede tener caras cuadradas, siempre y cuando se cumpla con lo antes descrita.

### • **Preparación y Acondicionamiento de las Muestras**

Los especímenes moldeados deben elaborarse de acuerdo a la norma mexicana NMX-C-159-ONNCCE

### Dimensiones

En el caso de los cilindros, cuando la altura promedio del espécimen es menor de 1.8 veces el diámetro, el resultado de la resistencia se debe corregirse por esbeltez

**NOTA: La relación de esbeltez se mide con el cilindro cabeceado en el caso de cabeceo con azufre. Cuando son placas no adheridas, la altura es solo del espécimen.**



**Tabla 3.1.1. Factor de corrección dependiendo la relación altura-diámetro.**

<b>Relación Altura-Diámetro del Especimen (x)</b>	<b>Factor de Corrección a la Resistencia (y)</b>	<b>Relación Altura-Diámetro del Especimen (x)</b>	<b>Factor de Corrección a la Resistencia (y)</b>
2.00	1.000	1.40	0.958
1.80	0.992	1.39	0.957
1.79	0.992	1.38	0.956
1.78	0.991	1.37	0.954
1.77	0.991	1.36	0.953
1.76	0.990	1.35	0.952
1.75	0.990	1.34	0.951
1.74	0.989	1.33	0.950
1.73	0.988	1.32	0.948
1.72	0.988	1.31	0.947
1.71	0.987	1.30	0.946
1.7	0.986	1.29	0.945
1.69	0.985	1.28	0.944
1.68	0.984	1.27	0.942
1.67	0.981	1.26	0.941
1.66	0.983	1.25	0.940
1.65	0.982	1.24	0.939
1.64	0.981	1.23	0.938
1.63	0.980	1.22	0.936
1.62	0.980	1.21	0.935
1.61	0.979	1.20	0.934
1.6	0.978	1.19	0.933
1.59	0.977	1.18	0.932
1.58	0.976	1.17	0.93
1.57	0.976	1.16	0.929
1.56	0.975	1.15	0.928
1.55	0.974	1.14	0.927
1.54	0.973	1.13	0.926
1.53	0.972	1.12	0.924
1.52	0.972	1.11	0.923
1.51	0.971	1.10	0.922
1.5	0.970	1.09	0.921
1.49	0.969	1.08	0.920
1.48	0.968	1.07	0.918
1.47	0.966	1.06	0.917
1.46	0.965	1.05	0.916
1.45	0.964	1.04	0.915
1.44	0.963	1.03	0.914
1.43	0.962	1.02	0.912
1.42	0.960	1.01	0.911
1.41	0.959	1.00	0.910

### Cabeceo

Antes del ensayo, en el caso de los cilindros, las bases o caras de aplicación de carga de los especímenes no se deben apartar de la perpendicular al eje en más de  $0.5^\circ$ , aproximadamente 3 mm en 300 mm (**perpendicularidad**) y no deben tener irregularidades que excedan de 0.05 mm (**planicidad**), en caso contrario la cara que no cumpla debe ser cabeceada de acuerdo a la norma NMX-C-109-ONNCCE o utilizarse casquetes de neopreno de acuerdo a la norma NMX-C-469-ONNCCE.

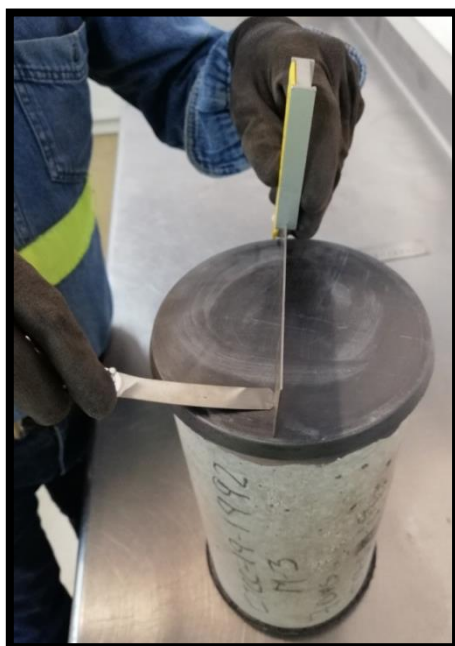


Figura 3.1.2. Revisando la planicidad en una dirección.



Figura 3.1.3. Revisando la planicidad en otra dirección.

**NOTA:** La planicidad, esta se checa poniendo una escuadra en la base del espécimen y con una laminilla del espesor de 0.05mm, checar si pasa por debajo de la escuadra en varios puntos de esta, si esta no pasa por debajo quiere decir que no tiene irregularidades.





Figura 3.1.4. Revisando la perpendicularidad en un punto.



Figura 3.1.5. Revisando la perpendicularidad en otro punto.

**NOTA:** La perpendicularidad, esta se checa poniendo una escuadra a lo largo del espécimen y con una laminilla del espesor de 3 mm, checar si pasa por debajo de la escuadra en varios puntos de esta, si esta no pasa por debajo quiere decir que no aparta su perpendicular del eje.

- **Procedimiento**

Colocación de Especímenes en la Maquina de Ensayo

Limpiar las superficies de las placas superior e inferior y las cabezas del espécimen de ensayo, se coloca este último en el centro de la platina. Los cubos se colocan en la prensa sobre las caras que estuvieron en contacto con las paredes del molde, ya que estas serán las más planas y sin irregularidades.

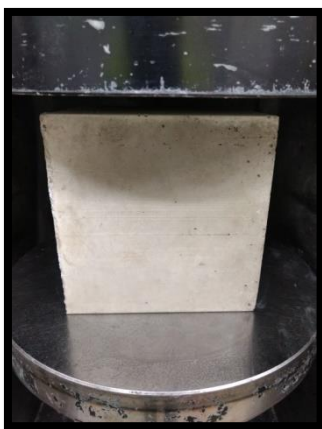


Figura 3.1.6. Centrado de espécimen cúbico.



Figura 3.1.7. Centrado de espécimen cilíndrico.

### Velocidad de Aplicación de la Carga

Se debe aplicar carga con una velocidad continua son producir impacto, ni perdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro de los intervalos indicados en la siguiente tabla:

<b>Velocidad de Aplicación de Carga</b>	<b>Forma del Espécimen</b>	<b>Diámetro o Lado Nominal de los especímenes cm (Pulgadas)</b>	<b>Área Nominal (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Carga Mínima kN/s (Ton/min)</b>	<b>Carga Máxima kN/s (Ton/min)</b>
0.25 Mpa/s ± 0.05 MPa/s  (2.55 kg/cm <sup>2</sup> /s ± 0.51 kg/cm <sup>2</sup> /s)	Cilindros	5.00 (2") de diámetro	19.64	0.4 (2.4)	0.6 (3.6)
		7.50 (3") de diámetro	44.18	0.9 (5.4)	1.3 (8.1)
		10.00 (4") de diámetro	78.54	1.6 (9.6)	2.4 (14.4)
		15.00 (6") de diámetro	176.72	3.5 (21.6)	5.3 (32.4)
	Cubos	5.00 (2") de lado	25.00	0.5 (3.1)	0.8 (4.6)
		7.50 (3") de lado	56.25	1.1 (6.9)	1.7 (10.3)
		10.00 (4") de lado	100.00	2.0 (12.2)	3.0 (18.4)
		15.00 (6") de lado	225.00	4.5 (27.5)	6.8 (41.3)

### Tolerancias

Los especímenes deben ensayarse a la edad especificada con las siguientes tolerancias:

<b>Edad de Ensayo Especificada</b>	<b>Tolerancia Permisible</b>
24 h	± 0.5 h
3 días	± 2 h
7 días	± 6 h
14 días	± 12 h
28 días	± 20 h
90 días	± 48 h

Tipos de Fallas

Cilindros

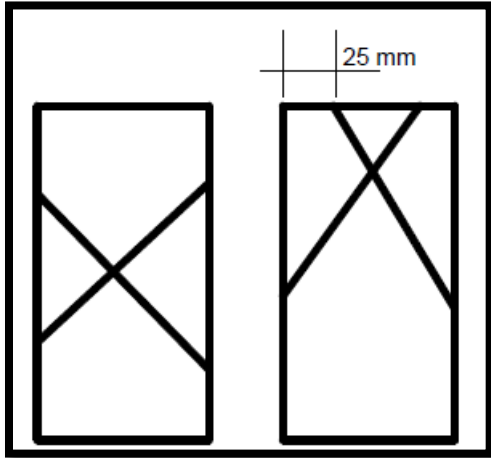


Figura 3.1.8. Falla Tipo 1.



Figura 3.1.9. Falla Tipo 1.

**Tipo 1**

Conos formados en ambos extremos, menores de 25 mm de las grietas hasta las tapas. Estos comúnmente se presentan en concretos de alta resistencia, de  $500 \text{ kg/cm}^2$  o mayores

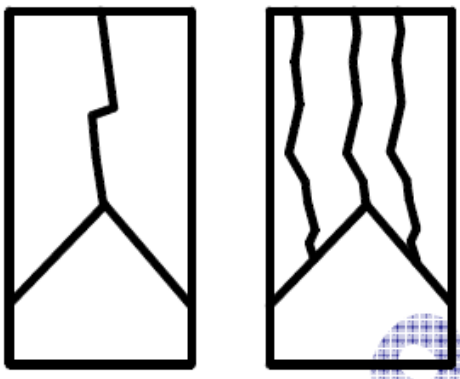


Figura 3.1.10. Falla Tipo 2.



Figura 3.1.11. Falla Tipo 2.

**Tipo 2**

Conos formados en ambos extremos, menores de 25 mm de las grietas hasta las tapas

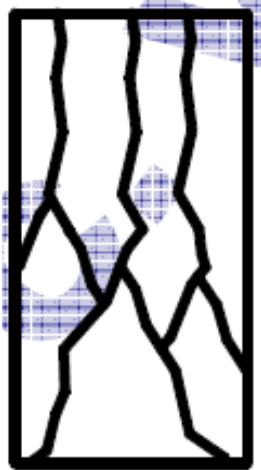


Figura 3.1.12. Falla Tipo 3.



Figura 3.1.13. Falla Tipo 3.

### Tipo 3

Fracturas verticales de columna de extremo a extremo, conos no formados. Estos comúnmente se presentan en concretos con resistencia de  $400 \text{ kg/cm}^2$  a  $500 \text{ kg/cm}^2$

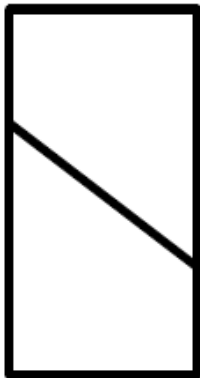


Figura 3.1.14. Falla Tipo 4.



Figura 3.1.15. Falla Tipo 4.

### Tipo 4

Fracturas diagonales sin agrietamiento en los extremos, golpear poco con el martillo para distinguirlo de falla Tipo 1. . Estos comúnmente se presentan en concretos convencionales.

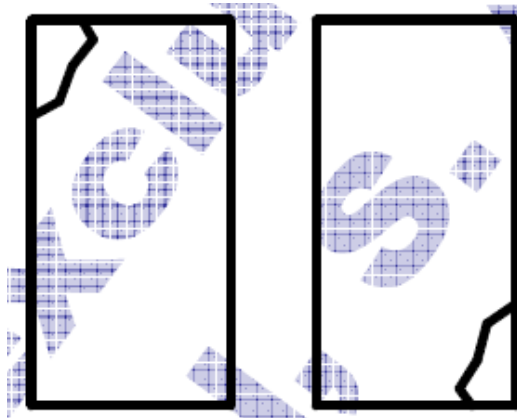


Figura 3.1.16. Falla Tipo 5.

**Tipo 5**

Fracturas en los lados de la parte superior o inferior, ocurre comúnmente con tapas no adheridas (de neopreno)

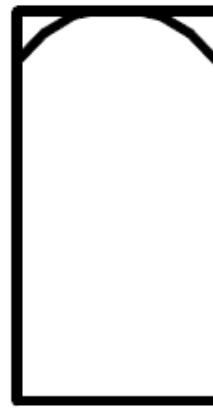


Figura 3.1.17. Falla Tipo 6.

**Tipo 6**

Similar al Tipo 5 pero es puntual en un extremo de los cilindros, ocurre comúnmente con tapas adheridas (de neopreno)

**NOTA: Se recomienda realizar cabeceo con azufre ya que con este se asegura que la carga se va a distribuir uniformemente sobre la superficie del espécimen.**

Cubos

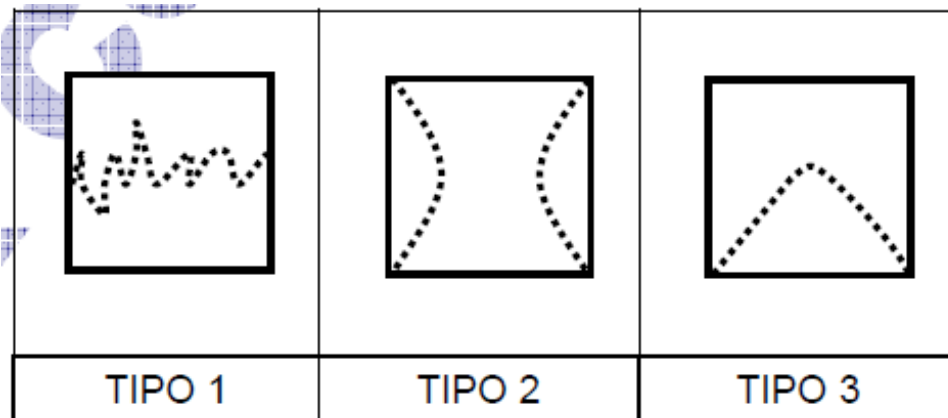


Figura 3.1.18. Diagrama de tipos de fallas satisfactorias para probetas cúbicas sometidas a compresión.



Figura 3.1.19. Falla Tipo 1.



Figura 3.1.20. Falla Tipo 2.



Figura 3.1.21. Falla Tipo 3.

**NOTA: Si las condiciones de ensayo provocan un estallido en el concreto, y no es posible registrar la falla, solo se registra esta situación. Esto es el caso de concreto con resistencias altas, superiores a los 400 kg/cm<sup>2</sup>.**



Figura 3.1.22. Estallido de espécimen cubico de 10x10 con una  $f'_c$  alrededor de 800 kg/cm<sup>2</sup>.

- **Cálculo y Expresión de Resultados**

Calcular la resistencia a la compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima soportada durante el ensayo entre el área promedio de la sección transversal.

$$f_c = F/A. \quad \text{Ecuación 3.1.1.}$$

$f_c$  = Resistencia a Compresión

$F$  = Carga Máxima

$A$  = Área del Especimen

La resistencia a la compresión se determina con el promedio de 2 especímenes como mínimo, ensayados a la edad especificada.

En el caso de especímenes con relación altura-diámetro menor a 1.8, el resultado de la resistencia se multiplica por el factor de corrección.



## 3.2 Prueba de Módulos Elásticos

Esta obedece a la norma **NMX-C-128-ONNCCE-2013**, “Industria de la Construcción-Concreto Sometido a Compresión-Determinación del Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Determina el Modulo de Elasticidad Estático (Modulo de Young) y la relación de Poisson, es aplicable a especímenes cilíndrico de concreto, moldeados o extraídos de la estructura, cuando se someten a esfuerzos de compresión longitudinal.

- **Equipo**

Máquina de Ensayo

Debe cumplir con lo especificado en la norma mexicana NMX-C-083-ONNCCE-20014.

Extensómetros

Conocidos también como indicadores de carátula, analógicos y estos son acoplables. Con división mínima de 2.5 micrómetros (0.0025 mm).

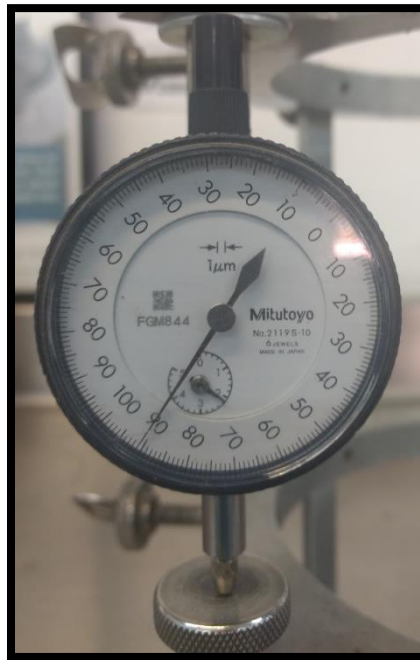


Figura 3.2.1. Extensómetro con división de 1 micrómetro, este tipo de micrómetros tiene aún más precisión de lo que te pide la norma.

### Deformímetros

Dispositivos que se adaptan a los especímenes de concreto para medir las deformaciones que se les generan al aplicarles cargas en compresión utilizando extensómetros. Se usan para medir las deformaciones longitudinales y transversales en los especímenes.

Estas lecturas se realizan:

- A. En dos líneas de mediciones diametralmente opuestas, para la sujeción de los dos extensómetros empleados para registrar lecturas.
- B. Paralelas al eje longitudinal del cilindro.
- C. Centradas con respecto a la altura media del espécimen

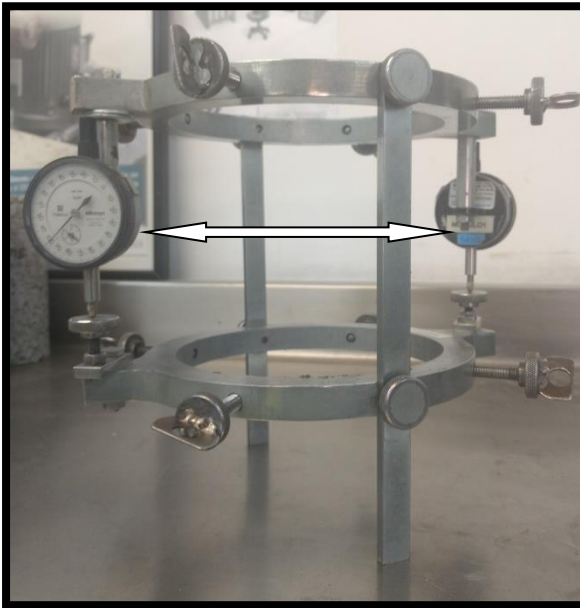


Figura 3.2.2. Medición diametralmente opuesta y centradas con respecto a la altura media del espécimen.

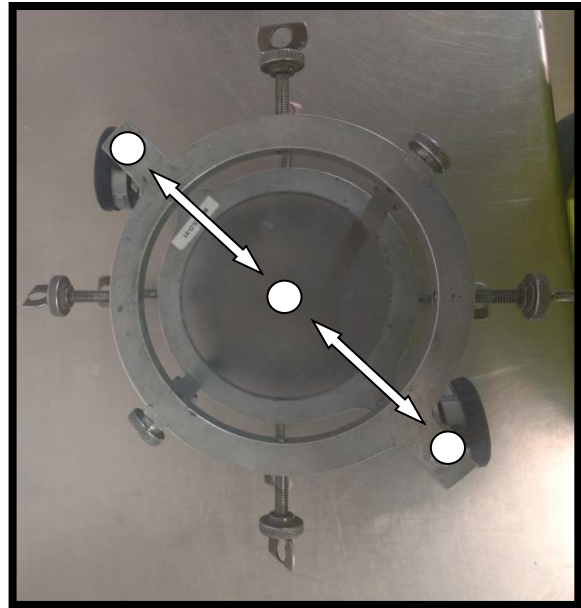


Figura 3.2.3. Paralelas al eje longitudinal del cilindro.

### Longitud de Medición

- A. No debe ser menor a 3 veces el tamaño máximo del agregado.
- B. No mayor a  $2/3$  de la altura de los especímenes.

C. Se logran mejores lecturas, cuando esta es  $\frac{1}{2}$  de la altura del espécimen aproximadamente o ligeramente mayor, para especímenes de 150 mm x 300 mm (estándar), esta longitud de medición debe ser de 150 mm a 200 mm.

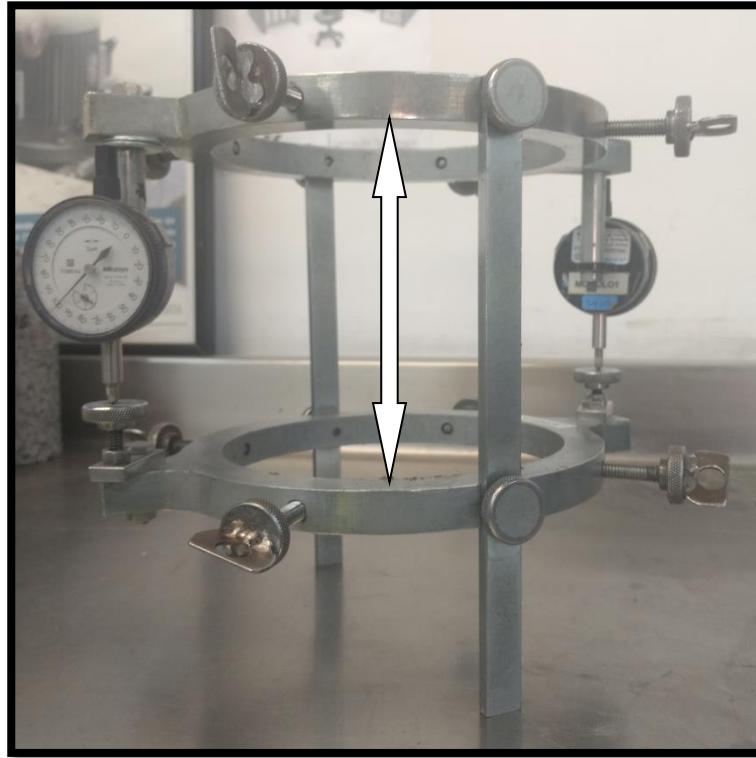


Figura 3.2.4. Longitud de medición.

### Deformímetros de Dos Anillos y Dos Extensómetros

Dispositivo con dos anillos metálicos separados entre sí por lo menos un medio de la altura del espécimen, pudiendo usar o no barras separadoras que permitan fijar los anillos de manera paralela.

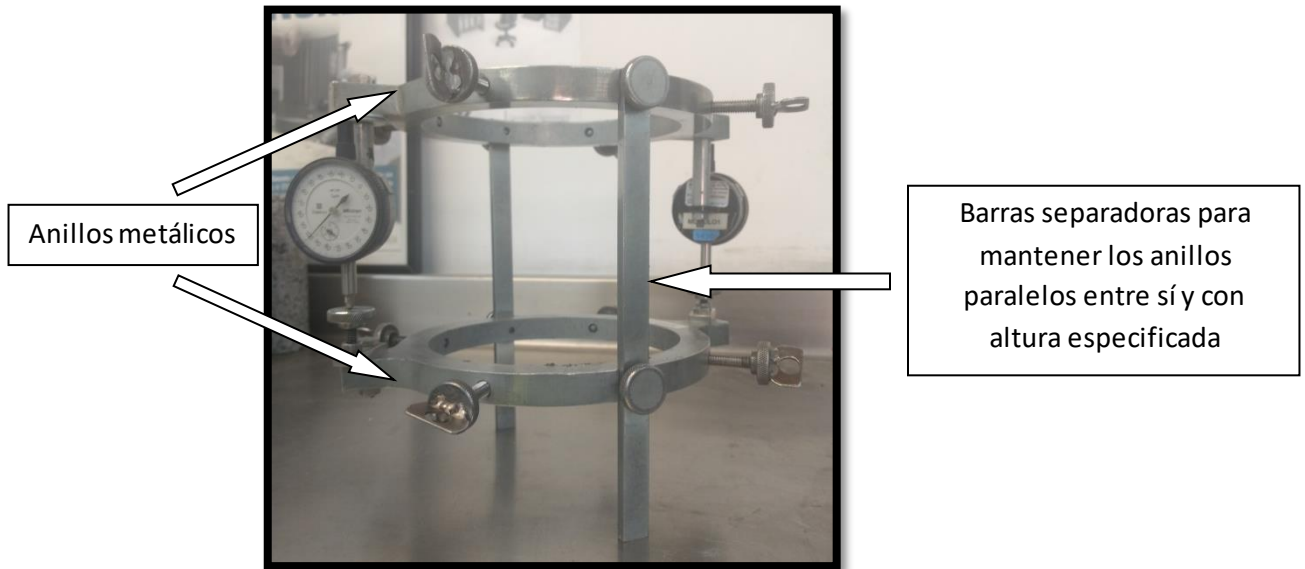


Figura 3.2.5. Anillos metálicos y barras separadoras.

Para su acoplamiento a los cilindros, cada anillo debe contar por lo menos con tres tornillos con punta para ser centrados y sujetados al espécimen.

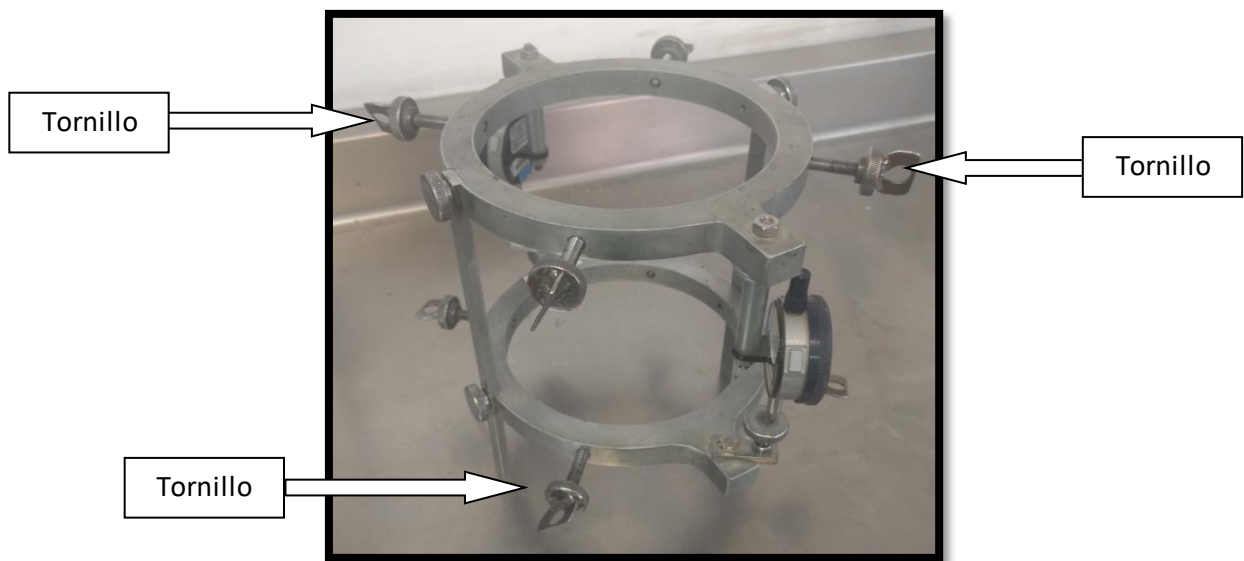


Figura 3.2.6. Tornillos de punta para centrar y sujetar el espécimen, tanto en el anillo superior como en el superior.

- **Preparación y Acondicionamiento de las Muestras**

Caso 1.- Se tienen 4 especímenes, 2 de ellos se ensayan a compresión para obtener el 40 % y 60% de su resistencia promedio, de las cuales el 60 % se utilizara para realizar la prueba de modulo y el 40% se utilizara para el reporte y cálculo del módulo de elasticidad y los otros 2 especímenes serán para realizar el ensaye a modulo.

Caso 2.- Se tienen 3 especímenes, 1 de ellos se ensayan a compresión para obtener el 60% de su resistencia, la cual se utilizara solo para realizar la prueba de modulo y los otros 2, primero se les realizara la prueba de modulo y después se ensayaran a compresión para obtener el 40% de su resistencia promedio, que se utilizara para el reporte y cálculo del módulo de elasticidad.

Caso 3.- Se tienen 2 especímenes, se utiliza la resistencia de proyecto para obtener el 60% de su resistencia, la cual se utilizara solo para realizar la prueba de modulo y los 2 especímenes, primero se les realizara la prueba de modulo y después se ensayaran a compresión para obtener el 40% de su resistencia promedio, que se utilizara para el reporte y cálculo del módulo de elasticidad.

Para el caso 2 y 3 se deberá tener considerado que al realizar el ensaye a modulo, la velocidad de aplicación de carga y el detener la carga momentáneamente para retirar los anillos antes de llegar a la carga de ruptura se puede generar una variación en la resistencia esperada.

**NOTA: El 60% de la carga que se aplicara para el ensaye a modulo se obtendrá de la siguiente manera, por ejemplo, si el promedio de los ensayes a compresión te da una resistencia de  $450 \text{ kg/cm}^2$ , esta se multiplicara por el área de la cara en la cual se aplica la carga, en este caso el área de un cilindro de 15 cm x 30 cm es de  $176.72 \text{ cm}^2$ , que da como resultado 79.5 Ton ( $450 \text{ kg/cm}^2 \times 176.72 \text{ cm}^2 = 79,524 \text{ kg} / 1000 = 79.5 \text{ Ton}$ ). Los 79.5 Ton por 0.6 es igual a 47 Ton, es decir que para el ensaye a modulo se aplicaran hasta 50 Ton.**

Se seguirá el mismo procedimiento para los 10% y 15% que se aplicaran en la precarga, más adelante mencionado y para el 40% que se utilizara para el cálculo del módulo elástico.

Los especímenes cilíndricos moldeados, deben elaborarse y curarse de acuerdo a la norma NMX-C-159-ONNCCE-2016 y durante el tiempo que transcurra entre el retiro del cuarto de curado y el ensayo, se debe evitar que pierdan humedad.

Las caras de los especímenes deben ser preparadas, de acuerdo con la norma NMX-C-109-ONNCCE-2010, la cual indica el cabeceo de por medio de azufre, el cual asegura la planicidad y perpendicularidad del espécimen, y además dicta que el azufre tiene que tener una resistencia a compresión mínima de 350 kg/cm<sup>2</sup>.



Figura 3.2.7. Cabeceo con azufre.



Figura 3.2.8. Cabeceo con azufre.

- **Procedimiento**

1. Colocar el espécimen en una superficie horizontal, plana y firme, donde se instale los deformímetros, el espécimen debe quedar al centro de los anillos, fijando los anillos mediante los tornillos de punta para evitar los desplazamientos.



Figura 3.2.9. Colocando los deformímetros de manera que el espécimen quede en el centro de los anillos.



Figura 3.2.10. Fijar los anillos por los anillos de punta para evitar desplazamientos.



2. Se retiran las barras separadoras, observando que no se registren movimientos.

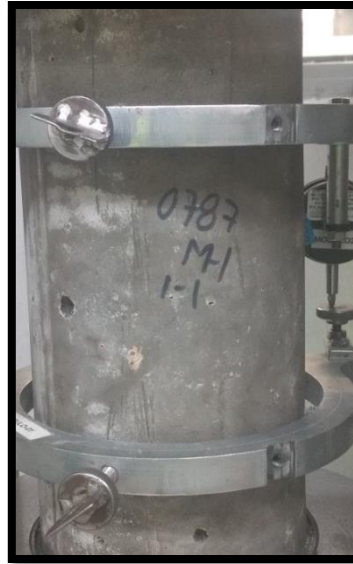


Figura 3.2.11. Barras separadoras retiradas.

3. Colocar el espécimen en el centro de la platina y manteniendo la superficie de esta limpia.



Figura 3.2.12. Especimen en el centro de la platina, asegurando las superficies limpias tanto de la platina como del espécimen.

4. Colocar la caratula de los indicadores en 0.0 (ceros)

5. Aplicar una precarga que estará entre el 10% y 15% del esfuerzo máximo promedio obtenido de los especímenes ensayados a compresión, esto con la finalidad de asegurar que la máquina de ensaye está ejerciendo la carga proporcionalmente sobre toda la superficie y esto se logra, al estabilizar ambos micrómetros de manera que estos tengan lecturas aproximadamente iguales al aplicar la precarga, si no es así quiere decir que se ejerce más carga sobre una parte de la superficie y esto se ajusta empujando ligeramente el espécimen hacia el micrómetro que da lectura más alta. Realizar las precargas necesarias hasta lograr el equilibrio.

6. Una vez estabilizados los micrómetros, aplicar la carga de ensayo. Primero se aplicaran las cargas y se registraran las deformaciones a cada tonelada de las primeras 5 Ton (1 Ton a 5 Ton), la velocidad de carga para las primeras lecturas deberá ser en 1 minuto aproximadamente. Después de las primeras 5 ton, se aplicaran y se toman lecturas cada 5 Ton hasta llegar al 60 % (5, 10 , 15 , 20 Ton ...), la velocidad de carga de estas lecturas será de 20 segundos aproximadamente.

- **Cálculo y Expresión de los Resultados**

Esfuerzos

$$\text{Esfuerzo } (S) = \frac{\text{Carga}}{\text{Área}}. \quad \text{Ecuación 3.2.1.}$$

Deformación Unitaria

$$\text{Deformación Unitaria } (e) = \frac{\text{Promedio de lecturas de los 2 Extensómetros}}{\text{Longitud de Medición}}. \quad \text{Ecuación 3.2.2.}$$

Interpolación

$$\text{Fórmula de Interpolación: } S - S_1 = \left( \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1} \right) (e - e_1). \quad \text{Ecuación 3.2.3.}$$

Donde:

S = Esfuerzo Requerido

S1 = Esfuerzo Menor

S2 = Esfuerzo Mayor

e = Deformación Requerida

e1 = Deformación Menor

e2 = Deformación Mayor

A. Determinar mediante la fórmula de interpolación, el esfuerzo (S) correspondiente a una deformación unitaria de 50 millonésimas (e). Entonces de la fórmula del punto C se despeja y se obtiene la siguiente formula.

NOTA: 50 millonésimas = 0.00005

$$S_{50} = \left( \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1} \right) (e_{50} - e_1) + S_1. \quad \text{Ecuación 3.2.4.}$$

$$S_{50} = \left( \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1} \right) (0.000050 - e_1) + S_1. \quad \text{Ecuación 3.2.5.}$$

B. Determinar mediante la fórmula de interpolación, la deformación unitaria (e) correspondiente al 40% del esfuerzo máximo Entonces de la fórmula del punto C se despeja y se obtiene la siguiente formula.

$$e_{40\%} = \left( \frac{(S_{40} - S_1)(e_2 - e_1)}{S_2 - S_1} \right) + e_1. \quad \text{Ecuación 3.2.6.}$$

C. Calcular el módulo de elasticidad empleando la fórmula siguiente:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - 0.000050}. \quad \text{Ecuación 3.2.7.}$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad estático, en MPa (kgf/cm<sup>2</sup>).

S1 = Esfuerzo a 50 millonésimas de deformación.

S2 = Esfuerzo correspondiente al 40% de f'c máxima.

e2 = Deformación al 40% de f'c máxima.

### Ejemplo:

Se tiene un espécimen que dio una resistencia a compresión de 358 kg/cm<sup>2</sup> con las siguientes lecturas de micrómetros. Teniendo en cuenta que la longitud de medición de los deformímetros es de 150 mm. Obtener su módulo de elasticidad.

Carga (Ton)	Deformaciones (mm)		
	Micrómetro 1	Micrómetro 2	Promedio
1.0	0.001	0.003	0.0020
2.0	0.005	0.005	0.0050
3.0	0.008	0.006	0.0070
4.0	0.010	0.009	0.0095
5.0	0.013	0.012	0.0125
10.0	0.022	0.029	0.0255
15.0	0.039	0.044	0.0415
20.0	0.050	0.060	0.0550
25.0	0.066	0.075	0.0705
30.0	0.088	0.090	0.0890
35.0	0.105	0.109	0.1070
40.0	0.125	0.132	0.1285

1. Obtener el 60% y 40% de la resistencia a compresión obtenida.

$$60\% = 358 \frac{kg}{cm^2} \times 176.72 cm^2 = \frac{63,265.76 kg}{1000} = 63.27 Ton \times 0.60 = 37.96 Ton$$

$$40\% = 358 \frac{kg}{cm^2} \times 176.72 cm^2 = \frac{63,265.76 kg}{1000} = 63.27 Ton \times 0.40 = 25.31 Ton$$

2. Obtener la deformación unitaria de las lecturas y los esfuerzos de cada carga.

Tabla 3.2.2.					
Carga (Ton)	Deformaciones (mm)			Deformación Unitaria (e) (mm)	Esfuerzos (kg/cm <sup>2</sup> )
	Mic. 1	Mic. 2	Prom.		
1.0	0.001	0.003	0.0020	0.000013	5.65867
2.0	0.005	0.005	0.0050	0.000033	11.31734
3.0	0.008	0.006	0.0070	0.000047	16.97601
4.0	0.010	0.009	0.0095	0.000063	22.63468
5.0	0.013	0.012	0.0125	0.000083	28.29335
10.0	0.022	0.029	0.0255	0.000170	56.58669
15.0	0.039	0.044	0.0415	0.000277	84.88004
20.0	0.050	0.060	0.0550	0.000367	113.17338
25.0	0.066	0.075	0.0705	0.000470	141.46673
30.0	0.088	0.090	0.0890	0.000593	169.76007
35.0	0.105	0.109	0.1070	0.000713	198.05342
40.0	0.125	0.132	0.1285	0.000857	226.34676

3. Determinar el esfuerzo (S) correspondiente a una deformación unitaria de 50 millonésimas (e).

**NOTA: Para este paso se utilizaron los datos de color amarillo, de acuerdo a la tabla 3.2.2.**

$$S_{50} = \left( \frac{S_2 - S_1}{e_2 - e_1} \right) (0.000050 - e_1) + S_1$$

$$S_{50} = \left( \frac{22.63468 - 16.97601}{0.000063 - 0.000047} \right) (0.00005 - 0.000047) + 16.97601$$

$$S_{50} = 18.03701 \text{ kg/cm}^2$$

4. Determinar la deformación unitaria (e) correspondiente al 40% del esfuerzo máximo.

**NOTA: Para este paso se utilizaron los datos de color verde, de acuerdo a la tabla 3.2.2.**

$$e_{40\%} = \left( \frac{(S_{40} - S_1)(e_2 - e_1)}{S_2 - S_1} \right) + e_1$$

**NOTA: Pero el 40% de la carga máxima fue 25.31 Ton por lo tanto, sacamos el esfuerzo en kg/cm<sup>2</sup>.**

$$Esfuerzo = \frac{25,310 \text{ kg}}{176.72 \text{ cm}^2} = 143.22091 \text{ kg/cm}^2$$

$$e_{40\%} = \left( \frac{(143.22091 - 141.46673)(0.000593 - 0.000470)}{169.76007 - 141.46673} \right) + 0.000470$$



$$e_{40\%} = 0.000478 \text{ mm/mm}$$

5. Ya teniendo los datos restantes por medio de interpolación. Se obtiene el modulo elástico.

$$E = \frac{S_2 - S_1}{e_2 - 0.000050}$$

$$E = \frac{143.22091 - 18.03701}{0.000478 - 0.000050} = 292,485.75 \text{ kg/cm}^2$$

- **Precisión**

A. Con un mismo operador y una misma máquina de ensaye la diferencia en los resultados de dos o más determinaciones de módulos de elasticidad debe ser de  $\pm 4.25\%$  máximo. (Una determinación es el promedio de los resultados de dos cilindros de la misma muestra).

B. En cilindros de la misma muestra ensayados en diferentes laboratorios y en condiciones similares, la diferencia de resultados no debe ser mayor de 5% de promedio de los laboratorios.

# Capítulo 4. Pruebas en Agregados

## 4.1 Prueba de Densidad y Absorción del Agregado

### Grueso

Esta obedece a la norma **NMX-C-164-ONNCCE-2014**, “Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Grueso”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Establece el método de ensayo para la determinación de la densidad relativa y la absorción del agregado grueso. Y es aplicable para agregados con tamaño máximo de 76 mm (3 pulgadas).

- **Definiciones**

Masa Seca

El agregado es considerado seco cuando se ha mantenido a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante el tiempo necesario para lograr una masa constante, lo cual es cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es igual o menor que 0.1% de la masa del material.

- **Equipo**

Bascula

Con una aproximación igual o mayor al 0.1% de la masa a utilizar, es decir si se va a obtener un peso total de 3 kg, se multiplican los 3,000 gr por 0.001 (0.1%/100) es igual a 3 gr, lo cual significa que tu bascula debe tener división mínima de 3 gramos.

Tanque o Recipiente

Debe ser estanco, con la capacidad suficiente, para mantener sumergida totalmente en agua a la canastilla.

Canastilla de Malla

Canastilla de alambre con separación de tejido menor de 3 mm, la altura deber ser aproximadamente igual al diámetro o base de la misma y debe poder contener en su totalidad a la masa de la muestra de acuerdo con el tamaño máximo nominal del agregado.



Figura 4.1.1. Canastilla por fuera.



Figura 4.1.2. Canastilla por dentro.

### Dispositivo para sujeción de la canastilla

Mecanismo que permite suspender la canastilla dentro del recipiente con agua sin tocar las paredes laterales ni el fondo del recipiente



Figura 4.1.3. Dispositivo de sujeción de canastilla.



Figura 4.1.4. Dispositivo de sujeción de canastilla.

Fuente indirecta de calor

Horno con termostato ajustable a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , con capacidad suficiente para secar las muestras o sus fracciones.

- **Preparación y Acondicionamiento de la Muestra**

1. Se debe mezclar la muestra perfectamente y reducir a la cantidad necesaria para el ensayo como se indica en la norma mexicana NMX-C-170-ONNCCE, la cual indica ya sea por medio de un cuarteo mecánico o manual.



Figura 4.1.5. Para el cuarteo mecánico, el agregado se distribuye a todo lo largo del cuarteador.



Figura 4.1.6. Para agregado grueso, el número de conductos no debe ser menor a 8.

En la siguiente tabla se indican las masas mínimas dependiendo del tamaño máximo nominal del agregado.

Tabla 4.1.1. Tamaño Mínimo de la Muestra	
Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm)	Masa Mínima de la Muestra de Ensayo (kg)
13	2
20	3
25	4
40	5
50	8
64	12
76	18

**NOTA: Se recomienda que del peso indicado en la norma, este se exceda por lo menos unos 500 gr más.**

2. Una vez ya teniendo tu muestra reducida, dependiendo del tamaño máximo del agregado, este se pasa por la criba No. 4 para eliminar los tamaños menores.



Figura 4.1.7. Cribando por malla No. 4 para eliminar tamaños menores.



Figura 4.1.8. Lo que pasa la Malla No. 4 ya entra en el rango de las arenas por lo cual se desecha de la muestra.



3. Después esta se lava para eliminar el polvo o cualquier otro material adherido a la superficie.



Figura 4.1.9. Lavar el agregado grueso.



Figura 4.1.10. Lavar para eliminar polvo y material adherido.

4. Sumergir la muestra en agua a la temperatura ambiente por un periodo de 24 h  $\pm$  4 h.



Figura 4.1.11. Sumergir la muestra.



5. Después de tener tu muestra ya saturada, esta se seca superficialmente con una tela húmeda hasta que las superficies pierdan el brillo acuoso hasta que el material quede saturado y superficialmente seco, es decir que quede en SSS.



Figura 4.1.12. Poner la muestra en SSS.



Figura 4.1.13. Para que pierdan el brillo acuoso se utiliza una tela húmeda.



Figura 4.1.14. Del lado derecho se muestra el agregado grueso saturado y del lado izquierdo se presenta el agregado en SSS.

- **Procedimiento**

Determinación de la Densidad Relativa Saturada y Superficialmente Seca ( $D_r$  sss)

1. Sumergir la canastilla vacía y obtener su peso (Tara "t").



Figura 4.1.15. Obtener el peso de la canastilla "t".

2. Una vez que tu muestra ya está en SSS, pesar tu muestra confirmando que esta cumple con el peso indicado con la tabla anterior. Y obtienes tu  $M_{SSS}$ .

**NOTA:** Hacer este pasó lo más rápido posible ya que algunos agregados pierden humedad muy rápido.



Figura 4.1.16. El agregado mostrado es de 20 mm por lo cual su masa mínima que debe tener son 3 kg.

3. Colocar tu material a la canastilla, evitando perder masa en el proceso.



Figura 4.1.17. Colocando el material en la canastilla.

4. Sumergir totalmente la canastilla en el tanque, sin que roce las paredes ni el fondo. Una vez la canastilla sumergida, eliminar el aire atrapado girando la canastilla ligeramente y determinar la masa bruta (b).



Figura 4.1.18. Sumergir la canastilla ya con el agregado incluido.



Figura 4.1.19. Girar la canastilla suavemente.



Figura 4.1.20. Observar que ya no salgan burbujas de aire, si en el dado caso que sigan saliendo burbujas de aire seguir girando la canastilla.



Figura 4.1.21. Obtener la masa bruta "b".

### Determinación de la Absorción

5. Pasar todo lo que está en la canastilla a una charola o un recipiente, para después colocarlas en el horno a una temperatura constante de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Se deja enfriar a temperatura ambiente y se determina su masa ( $M_s$ ).



Figura 4.1.22. Después de determinar las masas necesarias para la densidad, pasar el agregado a una charola y colocar en horno hasta la masa seca " $M_s$ ".

- Cálculo y Expresión de los Resultados

1. La masa específica saturada y superficialmente seca se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$Dr_{SSS} = \frac{M_{SSS}}{Ma}. \quad \text{Ecuación 4.1.1.}$$

$$Ma = M_{SSS} - (b - t). \quad \text{Ecuación 4.1.2.}$$

Donde:

$Dr_{SSS}$  = Densidad Relativa Saturada Superficialmente Seca (Adimensional).

$M_{SSS}$  = Masa de la Muestra en SSS en aire, en kg.

$b$  = Masa Sumergida del agregado y la canastilla, en kg.

$t$  = Masa de la Canastilla Sumergida, en kg.

$Ma$  = Masa del volumen del agua, en kg.

2. La determinación de la absorción se calcula con la siguiente expresión:

$$A_{ag} = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \times 100. \quad \text{Ecuación 4.1.3.}$$

Donde:

$A_{ag}$  = Absorción expresada hasta décimos, en %.

$M_{SSS}$  = Masa de la Muestra en SSS en aire, en kg.

$M_S$  = Masa de la Muestra Seca, en kg.

3. Si tu muestra es muy grande, esta se tiene que dividir en fracciones por falta de capacidad del equipo. La densidad relativa saturada superficialmente seca, se calcula como el promedio pesado, por medio de la siguiente expresión:

$$Dr_{SSS} = \frac{M_{SSS1} \times Dr_{SSS1} + M_{SSS2} \times Dr_{SSS2} + \dots + M_{SSSn} \times Dr_{SSSn}}{M_{tSSS}}. \quad \text{Ecuación 4.1.4.}$$

Dr<sub>SSS</sub> = Densidad Relativa Saturada Superficialmente Seca (Adimensional).

M<sub>SSS1</sub>, M<sub>SSS2</sub>,... M<sub>SSSn</sub> = Masa de la Muestra en SSS en aire, en kg.

Dr<sub>SSS1</sub>, Dr<sub>SSS2</sub>,... Dr<sub>SSS</sub> = Densidad Relativa Saturada y Superficialmente Seca de cada una de las Correspondientes Fracciones.

M<sub>tSSS</sub> = Masa en SSS Total, en kg.

4. Cuando la muestra se ha dividido en fracciones, la absorción total se calcula por el promedio pesado, según la siguiente expresión:

$$A_{ag} = \frac{M_{S1} \times A_{ag1} + M_{S2} \times A_{ag2} + \dots + M_{Sn} \times A_{agn}}{M_{tS}}. \quad \text{Ecuación 4.1.5.}$$

A<sub>ag</sub> = Absorción Promedio, en %.

A<sub>ag1</sub>, A<sub>ag2</sub>,... A<sub>agn</sub> = Absorciones de las fracciones en que se divide la muestra, en %

M<sub>S1</sub>, M<sub>S2</sub>,... M<sub>Sn</sub> = Masas Secas de cada una de las fracciones de la muestra, en kg.

M<sub>tS</sub> = Masa Seca Total, en kg.

- **Precisión**

- Un solo operador

Dos determinaciones del mismo material con el mismo equipo y en las mismas condiciones.

$$Dr_{SSS} = 0.020$$

- Dos o más operadores

Dos determinaciones del mismo material con equipo similar y en instalaciones similares

$$Dr_{SSS} = 0.032$$



## 4.2 Prueba de Densidad y Absorción del Agregado

### Fino

Esta obedece a la norma **NMX-C-165-ONNCCE-2014**, “Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Fino”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Establece el método de ensayo para la determinación de la densidad relativa y la absorción del agregado fino. Y es aplicable para agregados con tamaño máximo de 4.75 mm (Malla No.4)

- **Definiciones**

Masa Seca

El agregado es considerado seco cuando se ha mantenido a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante el tiempo necesario para lograr una masa constante, lo cual es cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es igual o menor que 0.1% de la masa del material.

- **Equipo**

Balanza

Dispositivo para determinar la masa de la muestra con una sensibilidad de 0.1 gr.

Horno de Secado

Debe estar equipado con un termostato para mantener la temperatura en  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Molde

Debe ser de lámina de metela tipo inoxidable (latón, bronce, aluminio, etc) con un espesor de 0.8 mm y forma troncocónica, sin fondo; con medidas interiores de 40 mm de diámetro superior, 90 mm de diámetro inferior, 75 mm de altura y una tolerancia en cada una de las dimensiones de  $\pm 3$  mm.





Figura 4.2.1. Medidas del molde.

Picnómetro

Es un recipiente en el cual se puede introducir fácilmente el agregado fino. Un tipo de picnómetro se logra empleando un frasco de vidrio provisto de tapón cónico con una abertura superior de diámetro aproximado a 10 mm, que tenga cierre hermético.



Figura 4.2.2. Picnómetro.

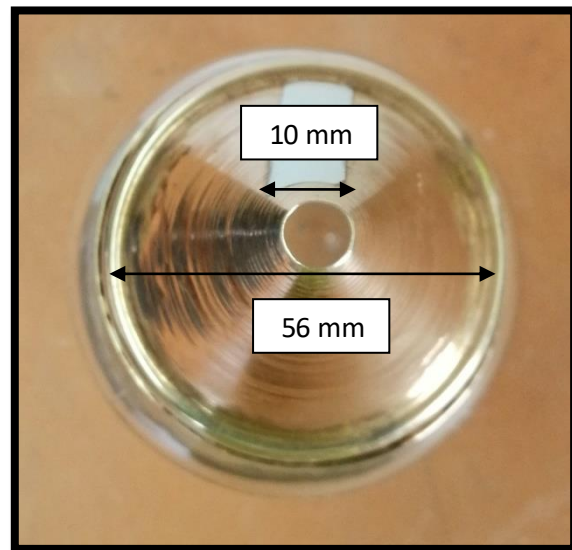


Figura 4.2.3. Medidas de Picnómetro.

### Pisón

Debe ser metálico, cilíndrico con una masa de  $340 \text{ gr} \pm 15 \text{ gr}$  y con una superficie de apisonamiento plana y normal al eje longitudinal, con un diámetro de  $25 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ .



Figura 4.2.4. Pisón debe pesar  $340 \text{ gr} \pm 15 \text{ gr}$ .



Figura 4.2.5. Pisón debe tener un diámetro de  $25 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$ .

- **Preparación y Acondicionamiento de la Muestra**

1. Se debe mezclar la muestra perfectamente y reducir a la cantidad necesaria para el ensayo como se indica en la norma mexicana NMX-C-170-ONNCCE, la cual indica ya sea por medio de un cuarteo mecánico o manual.

Se reduce a un volumen de por lo menos el doble del volumen del picnómetro que se va a emplear en la determinación.



Figura 4.2.6. Para el cuarteo mecánico, el agregado se distribuye a todo lo largo del cuarteador.



Figura 4.2.7. Para agregado fino, el número de conductos no debe ser menor a 12.



Figura 4.2.8. Para densidad de agregado fino se reduce la muestra por lo menos 2kg.

2. Una vez ya teniendo tu muestra reducida se pasa por la criba No. 4 para eliminar los tamaños mayores.



Figura 4.2.9. Al cribar por Malla No.4, lo que se queda retenido en tal malla, ya forma parte del agregado grueso por lo cual se desecha.

3. Se coloca la muestra en una charola y se satura con agua manteniendo un tirante por arriba del agregado por lo menos 20 mm y se deja reposar por 24 hr  $\pm$  4 h.



Figura 4.2.10. Colocar la muestra en una charola.



Figura 4.2.11. Saturar el agregado de agua por lo menos 20 mm.



4. Decantar (quitar agua) el exceso del agua cuidando que los finos no se pierdan.



Figura 4.2.12. Decantar el exceso de agua.



Figura 4.2.13. Procurando que no se pierdan los finos.

5. Extender la muestra en una superficie lisa no absorbente.



Figura 4.2.14. Pasar la muestra a una superficie lisa no absorbente, se recomienda que sea una superficie grande para poder manipular la muestra.



Figura 4.2.15. Extender la muestra.

6. Exponer a una corriente de aire tibio que no arrastre finos de la muestra y se mueva la muestra con frecuencia para asegurar un secado homogéneo. Y esta operación continua hasta que se acerque a la condición de saturado superficialmente seco (SSS), que se detecta por el flujo libre del agregado.

**NOTA: Por cuestión de practicidad y rapidez al hacer la prueba, se recomienda que esto se haga con una pistola de aire caliente moderando la velocidad en la que expulsa el aire, teniendo cuidado que no se arrastren finos.**



Figura 4.2.16. Si tu muestra está muy húmeda, se puede poner la pistola muy cerca del agregado para que lo pueda secar más rápido.



Figura 4.2.17. Si tu muestra ya es muy manejable, la pistola se debe poner a una distancia considerable para que no se pierdan finos.

7. Para comprobar que tu agregado está en SSS. Fijar firmemente el molde con una mano, con su diámetro mayor hacia abajo sobre una superficie lisa, no absorbente.



Figura 4.2.18. Fijar firmemente el molde con una superficie lisa.

8. Llenar con una porción de muestra hasta que sobrepase el borde superior y se compacta por la masa propia del pisón, colocándolo 10 veces sin altura de caída, sobre la superficie de la muestra.



Figura 4.2.19. Llenado del molde con la muestra de agregado.



Figura 4.2.20. Llenado hasta que sobrepase el borde superior.



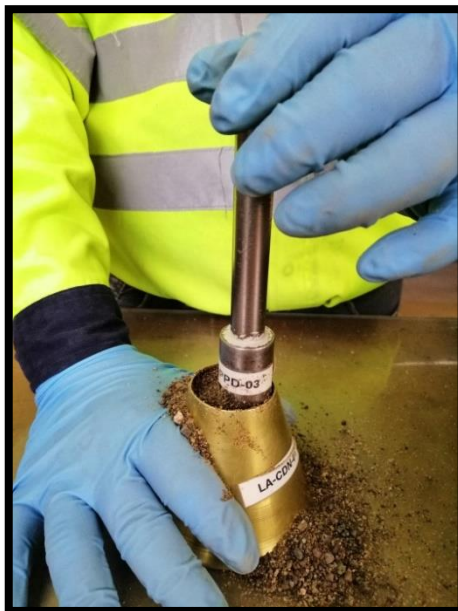


Figura 4.2.21. Compactando 10 veces con pisón sin altura de caída sobre la superficie de muestra.

9. Volver a llenar el molde, se compacta otras 10 veces por la masa del propio pisón sin altura de caída, sobre la superficie de la muestra.



Figura 4.2.22. Llenado hasta que sobrepase el borde superior.

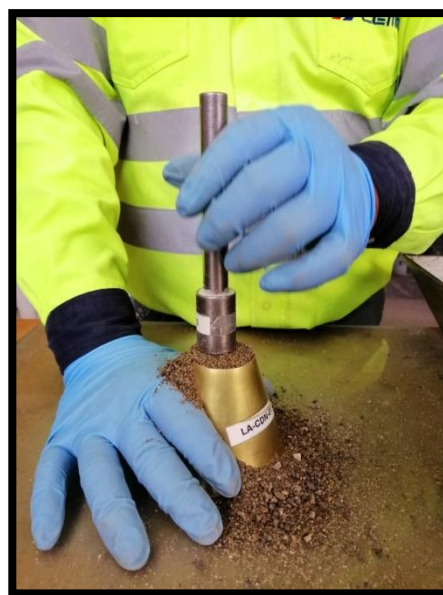


Figura 4.2.23. Compactando 10 veces más con pisón sin altura de caída sobre la superficie de muestra.

10. Nuevamente llenar el molde y se compacta 3 veces con el pisón.

11. Se vuelve a llenar el molde y aplicar 2 veces la compactación con el pisón para completar 25 compactaciones en total.

**NOTA: Al hacer tus compactaciones estás deben ser uniformes en toda la superficie y una forma de saber que estas se están realizando de forma correcta, es cuando haces tus últimas compactaciones de cada serie de compactaciones, tu pisón se queda equilibrado sin ayuda.**



Figura 4.2.24. Verificando que tus compactaciones son uniformes.

12. Se enrasa con el mismo pisón deslizándolo, cuidando de no ejercer presión sobre el material y en todo momento mantener fijo el molde con una mano.



Figura 4.2.25. Enrasando con el pisón.



Figura 4.2.26. Cuidando de no ejercer presión sobre el material.

13. Retirar el material excedente alrededor del molde y siempre manteniendo fijo el molde con una mano.

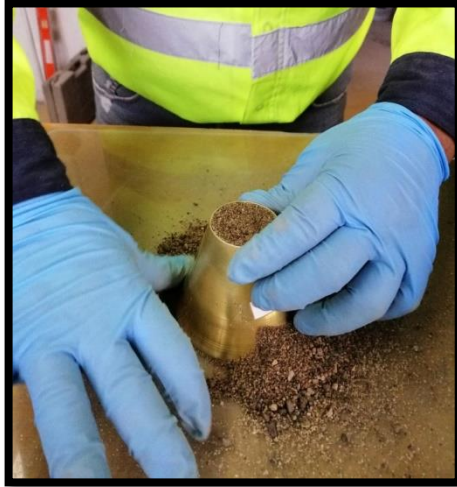


Figura 4.2.27. Retirar el material excedente alrededor del molde.



Figura 4.2.28. Siempre manteniendo fijo el molde con una mano.

14. Levantar el molde verticalmente.



Figura 4.2.29. Levantar el molde verticalmente.

- Observaciones

A continuación se presentan las recomendaciones en los casos de que tu agregado al levantar el cono; 1) Tiene todavía humedad, 2) Cuando está en SSS y 3) Se seca demás tu agregado.

1. Tiene todavía humedad.

Si el material conserva la forma del molde, es que el agregado todavía tiene humedad superficial.

Esto se puede observar también cuando desde el comienzo, al hacer las compactaciones en el pisón, el agregado se queda pegado al pisón y en el molde.

Dependiendo de qué tan húmeda este la muestra se recomienda dos opciones:

A. Si se siente que tu muestra está muy húmeda todavía, seguir con la pistola de aire caliente, tratando que ya sea a una temperatura baja y mantenerla a una distancia considerable ya que los finos se arrastran con más facilidad en este punto.



Figura 4.2.30. Agregado todavía con exceso de humedad, ya que conserva la forma del cono.



Figura 4.2.31. Si el agregado sigue húmedo, este se queda pegado en el pisón y molde.



B. Si se siente que la muestra ya le falta muy poco para estar en SSS, ya no se utiliza la pistola de aire y en la charola o en el recipiente en el que se tienen la muestra, pasar la muestra a otro recipiente y viceversa.



Figura 4.2.32. y 4.2.33. Cuando le falta poco para estar en SSS, se pasa de un recipiente a otro y viceversa.

## 2. Quando tu agregado está ya en SSS

Es cuando al levantar el cono, la muestra se disgrega un poco perdiendo parcialmente la forma.

No en todos los agregados aunque tengan la misma litología, se disgrega de la misma forma, ya que depende de la cohesión y trituración del agregado.

Si uno siente que su agregado ya está en SSS y este no se disgrega, se pueden usar medios mecánicos como la agitación, como por ejemplo, dar unos ligeros golpes sobre la superficie donde se realice la prueba

No se espera obtener tu material en SSS en el primer intento, intentar hasta lograrse en intentos sucesivos.



Figura 4.2.34. y 4.2.35. En ese caso las dos arenas presentadas son andesitas pero al levantar el cono estas se disgregaron de diferente forma y esto depende de la cohesión y trituración del agregado.

### 3. Se seca demás tu agregado

Se observa que al levantar el molde este se abate por completo. Y cuando pase esto, se añade agua al material y se remezcla. Y se repite hasta alcanzar la condición deseada.



Figura 4.2.36. Se perdió humedad de más, ya que hay un completo abatimiento.



Figura 4.2.37. Si ocurre un abatimiento, agregar agua y remezclar.

#### • **Procedimiento**

*Determinación de la Densidad Relativa Saturada y Superficialmente Seca ( $D_r$  sss)*

1. Ya teniendo tu material en SSS, se tara el picnómetro y se introduce el material el cual va a ser un 33% a 50% del volumen del picnómetro que se va a emplear, que aproximadamente serían de 700 a 800 gr. Y esta sería tu  $M_{SSS}$  para la densidad.



Figura 4.2.38. Introducir el material en SSS al picnómetro, aproximadamente de 700 a 800 gr.



2. Ya teniendo tu masa en SSS en el picnómetro, se introduce agua hasta que cubra la muestra en exceso, debe de tener una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . El picnómetro bien tapado, se agita e invierte para eliminar todas las burbujas de aire.



Figura 4.2.39. Introducir agua hasta que cubra la muestra en exceso.



Figura 4.2.40. El agua debe tener una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ .



Figura 4.2.41 y 4.2.42. Se agita y se invierte de tal manera que se eliminan todas las burbujas de aire.

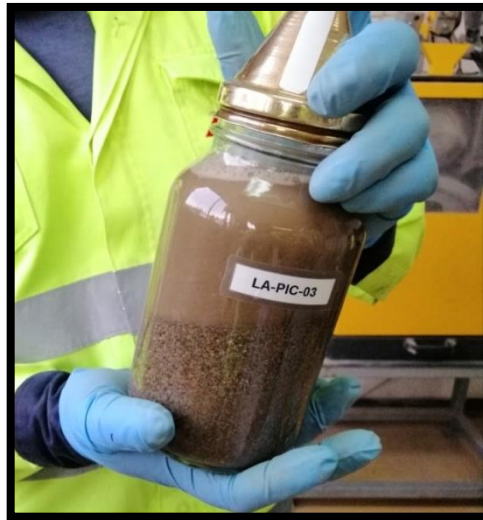


Figura 4.2.43. Una forma de saber que se agito de forma correcta es que al terminar de agitar, al sedimentarse la muestra, se forman capas uniformes tanto de los tamaños finos y gruesos que componen la muestra.

3. Se pone la báscula en 0.00 (ceros). Ya agitado tu picnómetro, se llena de agua hasta el nivel de aforo y después se seca superficialmente para que no haya variaciones en el peso. Y se determina la masa del picnómetro + muestra + agua ( $M_{pma}$ ) con una aproximación del 0.1%.



Figura 4.2.44. Se llena hasta nivel de aforo.



Figura 4.2.45. Se seca superficialmente.



Figura 4.2.46. Se termina de llenar a nivel de aforo.



Figura 4.2.47. Así se deberá ver el nivel de aforo y cuando se tenga esta condición, se obtiene la  $M_{pma}$ .

4. Ya obtenido el dato de  $M_{pma}$ , se lava el picnómetro en forma que ya no quede material en el y se llena el picnómetro con solamente agua hasta el nivel de aforo y se obtiene la masa del picnómetro + agua ( $M_{pa}$ ).



Figura 4.2.48. Así se debe de ver el picnómetro solamente con agua hasta el nivel de aforo y secado superficialmente.



Figura 4.2.49. Así se deberá ver el nivel de aforo y cuando se tenga esta condición, se obtiene la  $M_{pa}$ .

### Determinación de la Absorción

5. De tu muestra en SSS, tomar otra muestra, aparte de la que se va a ocupar para la densidad, con una mano no menor a 200 gr y colocarlo en un recipiente o charola. Determinar su masa (M<sub>SSS</sub>).



Figura 4.2.50. Del material en SSS, pesar mínimo 200 gr para determinar la absorción.

6. Secar la masa a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta una masa constante que no varié más del 0.1% dejar enfriar a temperatura ambiente y determinar la masa de la muestra seca (M<sub>s</sub>).

- **Calculo y Expresión de los Resultados**

La masa especifica saturada y superficialmente seca se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$Dr_{SSS} = \frac{M_{SSS}}{M_{pa} + M_{SSS} - M_{pma}}. \quad \text{Ecuación 4.2.1.}$$

Donde:

$Dr_{SSS}$  = Densidad Relativa Saturada Superficialmente Seca (Adimensional).

$M_{SSS}$  = Masa de la Muestra en SSS en aire, en g.

$M_{pa}$  = Masa del picnómetro lleno de agua, en g.

$M_{pma}$  = Masa del picnómetro, muestra y agua hasta nivel de aforo, en g.

La determinación de la absorción se calcula con la siguiente expresión:

$$A = \frac{M_{SSS} - M_S}{M_S} \times 100. \quad \text{Ecuación 4.2.2.}$$

Donde:

$A_{ag}$  = Absorción expresada hasta décimos, en %.

$M_{SSS}$  = Masa de la Muestra en SSS en aire, en g.

$M_S$  = Masa de la Muestra Seca, en g.

### 4.3 Prueba de Masa Volumétrica

Esta obedece a la norma **NMX-C-073-ONNCCE-2014**, “Industria de la Construcción-Agregados-Masa Volumétrica-Método de Prueba”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Establece el método de ensayo para la determinación de la masa volumétrica de los agregados finos y gruesos. Y es aplicable para agregados cuyo tamaño máximo nominal no excedan de 150 mm.

- **Definiciones**

Masa Seca

El agregado es considerado seco cuando se ha mantenido a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante el tiempo necesario para lograr una masa constante, lo cual es cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es igual o menor que 0.1% de la masa del material.

- **Equipo**

Balanza

Dispositivo sensible para determinar la masa de la muestra con una precisión igual o mayor de 0.1% de la masa por utilizar.

Horno o fuente indirecta de calor

Horno con termostato ajustable para mantener la temperatura en  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  que permita el secado del material sin calcinarlo.

Placa de Vidrio

Debe ser cuadrada de 6 mm de espesor y de cuando menos 25 mm mayor con respecto al diámetro del recipiente que se vaya a emplear

Varilla

Debe ser de acero de sección circular de  $16 \text{ mm} \pm 1.5 \text{ mm}$ , recta y lisa de  $600 \text{ mm} \pm 30 \text{ mm}$  de longitud, cuando menos con uno de los extremos semiesféricos del mismo diámetro.



### Recipiente

Debe emplearse un recipiente cilíndrico de metal inoxidable, estanco y suficientemente rígido, para conservar su forma y volumen bajo uso rudo. Debe ser maquinado o pulido de forma, que conserve medidas precisas en su pared interior y provisto por dos manijas.

El borde superior del recipiente debe ser plano, lo cual se verifica al no poder insertar una laminilla de 0.25 mm entre el borde y la placa de verificación.

La relación entre el diámetro y la altura interior debe estar dentro de 0.8 y 1.2.

La capacidad del recipiente dependerá del tamaño máximo nominal del agregado, de acuerdo a la siguiente tabla:

<b>Tabla 4.3.1. Dimensiones de los Recipientes</b>			
<b>Capacidad dm<sup>3</sup> (L)</b>	<b>Espesor Mínimo (mm)</b>		<b>Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm)</b>
	<b>Fondo</b>	<b>Pared</b>	
5	5.0	2.5	13
10	5.0	2.5	25
14	5.0	3.0	40
28	5.0	3.0	100

### Enrasador (Regla Metálica)

Debe ser una placa rectangular, lisa y rígida de 3 mm de espesor mínimo, 50 mm de ancho mínimo y una longitud mínima de 100 mm mayor al diámetro del recipiente que se va a emplear.

### Cucharón Metálico

Cucharón metálico de un litro de capacidad mínima.



Figura 4.3.1 Equipo a utilizar para realizar la masa volumétrica.

- **Preparación y Acondicionamiento de la Muestra**

Se reduce la muestra a un volumen de aproximadamente 1.5 veces la capacidad del recipiente que se va a emplear, de acuerdo con la NMX-C-170-ONNCCE, la cual indica ya sea por medio de un cuarteo mecánico o manual.

El agregado fino debe humedecerse antes de iniciar la reducción del tamaño de la muestra para evitar la pérdida excesiva de finos.

Después de reducir la muestra, esta debe secarse hasta masa constante en el horno a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta que la diferencia entre dos pesadas sucesivas es igualo menor que 0.1% de la masa del material.

- **Procedimiento**

- Calibración del Recipiente

Esta se obtiene como se vio en el Capítulo II: Laboratorio de Concreto Fresco-Prueba de Masa Unitaria y Rendimiento-Factor de Recipiente.

- Homogenizar

Antes de empezar la prueba homogenizar la muestra con el cucharón.



Figura 4.3.2 y 4.3.3. Homogenizar tanto arena como grava antes de realizar la prueba.

- **Determinación de la Masa Volumétrica Compacta**

- 1. Procedimiento de Compactación con Varilla

Aplicable a agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 40 mm o menor.

- Compactaciones

A. El recipiente se llena en 3 capas iguales, de las cuales la última capa se llena totalmente hasta que el material sobrepase el borde superior.

**NOTA:** La caída del agregado debe ser con una velocidad constante ya que así se asegura que este se distribuya proporcionalmente sobre toda el área evitando la segregación.



Figura 4.3.4. Altura aproximada de la primera      Figura 4.3.5. Altura aproximada de la segunda.



Figura 4.3.6. y 4.3.7. En ambos caso tanto agregado grueso como fino, así se deberá ver la tercera capa con material que sobre pase el borde



B. Y a cada capa se le deberán dar 25 penetraciones, distribuidas uniformemente sobre la superficie con una fuerza que no triture las partículas del agregado y manteniendo la varilla en todo momento lo más recta posible.



Figura 4.3.8. Penetraciones al agregado fino.



Figura 4.3.9. Penetraciones al agregado grueso.

### Enrase

En agregado fino el enrase se deberá realizar con el enrasador, mediante una operación de corte horizontal.



Figura 4.3.10. y 4.3.11. Enrase mediante corte horizontal.



Figura 4.3.12. Aproximadamente así se debe de ver un enrase en agregado fino.

Y en cuanto agregado grueso, se quita el exceso con los dedos y cuando se llegue al nivel del borde se hace visualmente, quitando y poniendo partículas, de tal manera que lo saliente sobre la superficie del borde compensen las depresiones por debajo de el



Figura 4.3.13. Quitando el exceso con los dedos.



Figura 4.3.14. Visualmente, quitando y poniendo partículas.





Figura 4.3.15. Aproximadamente así se debe de ver un enrase de agregado grueso donde se compensan lo saliente con las depresiones sobre el borde.

### Determinación de la Masa Bruta

Después de enrasar, limpiar todo el borde del recipiente principalmente de los elementos de sujeción, determinamos la Masa Bruta (Masa de recipiente + Masa de agregado).

#### 2. Procedimiento de compactación por impactos.

Aplicable a los agregados que tengan un tamaño máximo nominal mayor de 40 mm y hasta 100 mm.

### Compactación

A. Se coloca el recipiente sobre una base firme, tal como un piso de concreto pulido.



Figura 4.3.16. Recipiente para agregado con tamaño máximo nominal mayor de 40 mm.

B. El recipiente se llena en 3 capas iguales, de las cuales la última capa se llena totalmente hasta que el material sobrepase el borde superior.



Figura 4.3.17. y 4.3.18. Como se puede observar para agregado con tamaño mayores de 40 mm, el recipiente a utilizar es de gran capacidad, en este caso se recomienda llenar el recipiente con una pala de tal manera que al llenar este, uno gire junto con la pala de tal manera que se distribuya el agregado uniformemente.

C. Cada capa se compacta levantando y dejando caer 50 veces, alternando los golpes de cada lado del recipiente, a una altura de 50 mm sobre el piso.



Figura 4.3.19. y 4.3.20. Compactación por impactos alternando los 50 golpes de cada lado del recipiente.

### Enrase

La superficie del agregado se nivela se quita el exceso con los dedos y cuando se llegue al nivel del borde se hace visualmente, quitando y poniendo partículas, de tal manera que los saliente sobre la superficie del borde compensen las depresiones por debajo de el.

### Determinación de la Masa Bruta

Después de enrasar, limpiar todo el borde del recipiente principalmente de los elementos de sujeción, determinamos la Masa Bruta (Masa de recipiente + Masa de agregado).

- Determinación de la Masa Volumétrica Suelta

Aplicable a los agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 100 mm o menor.

El recipiente se llena en una sola capa hasta que el material sobrepase el borde, por medio de una pala o cucharón, dejando caer el agregado de una altura **no mayor de 50 mm** sobre el borde del recipiente, distribuyéndolo uniformemente para evitar segregación.

**NOTA: La caída del agregado debe ser con una velocidad constante ya que así se asegura que este se distribuya proporcionalmente sobre toda el área para evitar segregación.**



Figura 4.3.21. y 4.3.22. Llenando en una sola capa a una velocidad constante para una distribución proporcional.



Figura 4.3.23. Dejando caer el agregado a una altura no mayor a 50 mm entre el cucharón y el borde del recipiente.

### Enrase

En agregado fino el enrase se deberá realizar con el enrasador, mediante una operación de corte horizontal.

Y en cuanto agregado grueso, se quita el exceso con los dedos y cuando se llegue al nivel del borde se hace visualmente, quitando y poniendo partículas, de tal manera que los saliente sobre la superficie del borde compensen las depresiones por debajo de él.

### Determinación de la Masa Bruta

Después de enrasar, limpiar todo el borde del recipiente principalmente de los elementos de sujeción, determinamos la Masa Bruta (Masa de recipiente + Masa de agregado).

- Cálculo y Expresión de Resultados

#### Masa Volumétrica

Calcular la masa neta del concreto en kg, restando, la masa bruta (Mb) menos la masa del recipiente o la tara (Mr). Calcular la Masa Unitaria (Mu), multiplicando la masa neta del agregado por el factor del recipiente, utilizando la siguiente formula:

$$Mv = (Mb - Mr) \times F. \quad \text{Ecuación 4.3.1.}$$

Donde:

Mu = Masa volumétrica (masa por metro cubico de agregado), en kg/m<sup>3</sup>.

Mb = Masa bruta (masa de agregado + masa del recipiente), en kg.

Mr = Masa del recipiente, en kg.

F = Factor del recipiente, en 1/m<sup>3</sup>.



## 4.4 Prueba de Granulometría

Esta obedece a la norma **NMX-C-077-ONNCCE-1997**, “Industria de la Construcción-Agregados-Análisis Granulométrico”.

- **Objetivo y Campo de Aplicación**

Establece el método de ensayo para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.

- **Definiciones**

Masa Seca

El agregado es considerado seco cuando se ha mantenido a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante el tiempo necesario para lograr una masa constante, lo cual es cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es igual o menor que 0.1% de la masa del material.

- **Equipo**

Balanza

Con una aproximación de 0.1% de la masa de la muestra.

Horno

Horno ventilado y que sea capaz de mantener una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Juego de Cribas

Charolas

Maquina Agitadora

Para el cribado que sea capaz de sostener el juego completo de cribas para esta determinación.

- **Preparación de la Muestra**

Se debe mezclar la muestra perfectamente y reducir a la cantidad necesaria para el ensayo como se indica en la norma mexicana NMX-C-170-ONNCCE, la cual indica ya sea por medio de un cuarteo mecánico o manual.

El agregado fino debe humedecerse antes de iniciar la reducción del tamaño de la muestra para evitar la pérdida excesiva de finos.



### Agregado Fino

Para agregado fino se tiene que reducir la muestra por lo menos **500 gr** y si al terminar tu cribado se tiene un retenido en una criba mayor a los 180 gr, esta se divide y se criba en 2 partes.

### Agregado Grueso

La muestra del agregado grueso debe ser por lo menos lo indicado a la siguiente tabla:

<b>Tabla 4.4.1. Tamaño Nominal de Agregado Grueso</b>	
<b>Tamaño Nominal Máximo (mm)</b>	<b>Masa Mínima de la Muestra (kg)</b>
10	2
13	4
20	8
25	12
40	16
50	20
65	25
75	45
90	70

**NOTA:** Para ambos casos se debe pesar un poco más ya que estos al meter al horno pierden masa.

- **Procedimiento**

1. Se seca la muestra hasta masa constante a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

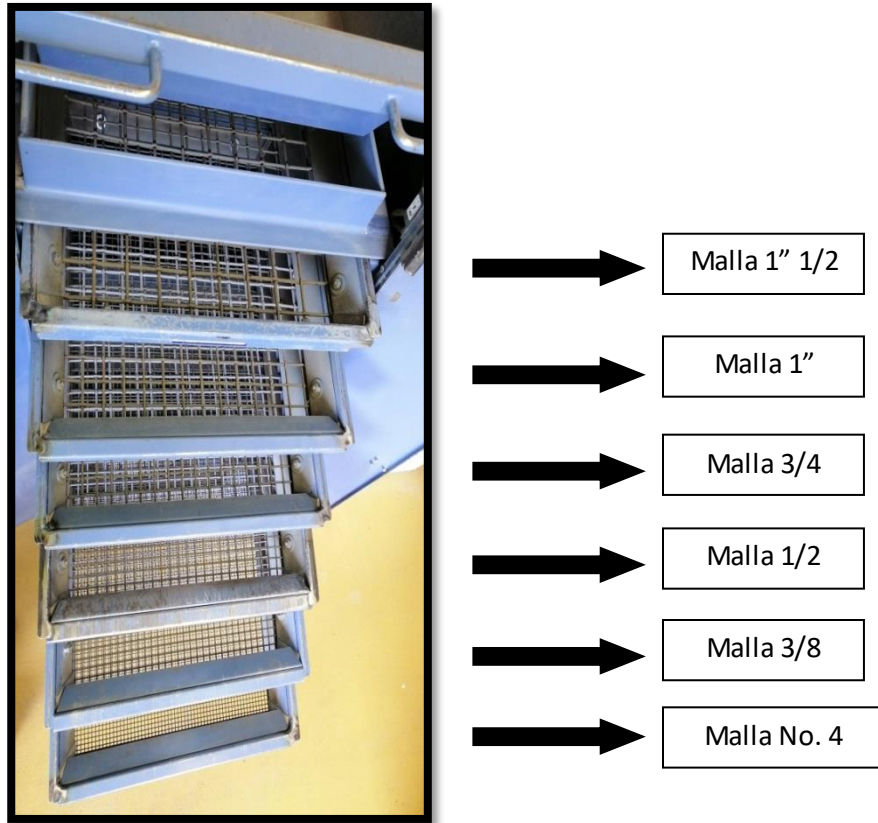


Figura 4.4.1. Este es el orden que se debe utilizar para las gravas.

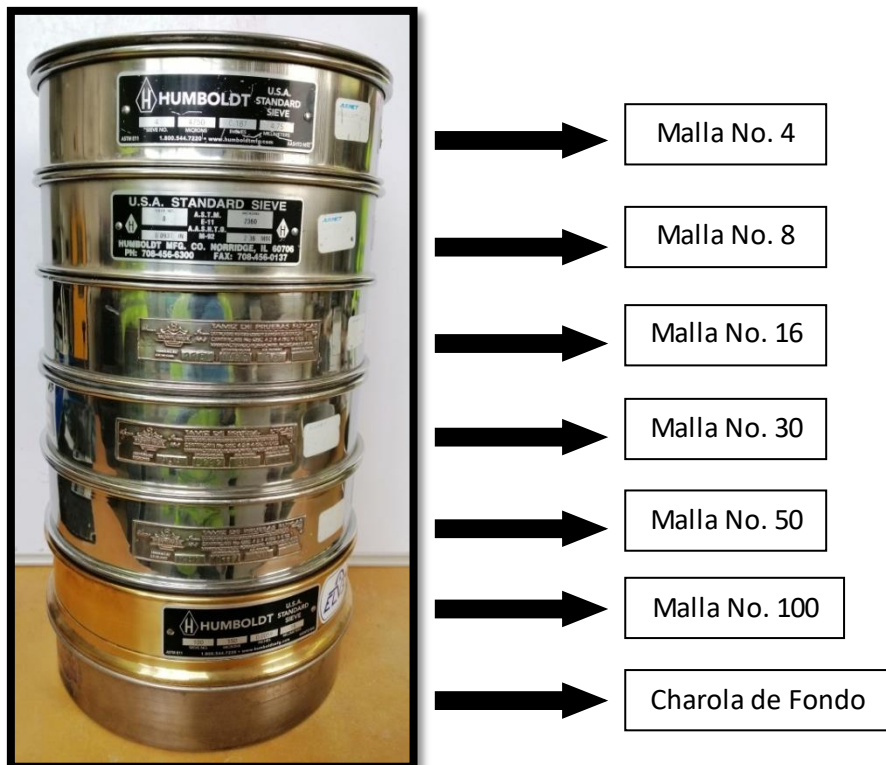


Figura 4.4.2. Este es el orden que se debe utilizar para las arenas.

2. Se arman las cribas que van a emplearse en la determinación en orden descendiente de aberturas terminando con la charola (fondo).

3. Se coloca la muestra en la criba superior y se tapa bien.



Figura 4.4.3. Colocar la muestra en la criba superior.



Figura 4.4.4. Tapar bien.

4. Se **agitan** las cribas a mano o con un aparato mecánico por un tiempo suficiente que se establece por experiencia.



Figura 4.4.5. Agitación de agregado fino por medio de un aparato mecánico.



Figura 4.4.6. Agitación de agregado grueso por medio de un aparato mecánico.

## Arenas

5. En el caso de las arenas, después de la agitación, se reciba individualmente cada criba, con su charola y tapa bien ajustada, en posición ligeramente inclinada, con una mano se gira la criba cada sexto y en cada sexto con la otra mano se le dan 25 golpes dando un total de 150 golpes por minuto. Con el fin de que no pase más del 1% de la masa de cada criba.



Figura 4.4.7. Se reciba cada criba individualmente con una charola de fondo, dándole un total de 150 golpes por minuto hasta que no pase más de 1% de la masa de cada criba.

Si se sigue **observando** que sigue pasando más del 1% a la charola seguir recibando hasta que no pase más del 1%.



Figura 4.4.8. Se puede observar que ya no pasa más del 1% de la masa que retiene la criba.

Al final el material que pase la malla a la charola se le anexa a la criba siguiente y lo retenido se le obtiene el peso.



Figura 4.4.9. Lo que pase la malla, se le anexa a la siguiente criba.

### Gravas

6. Si se tiene máquina de cribado, después del tiempo de cribado en esta, ya no se recriba, de lo retenido en cada malla, se pasa a una charola para obtener los pesos retenidos en cada criba.



Figura 4.4.10. En una máquina de cribado de agregado grueso así se ve la distribución del agregado en cada criba.



Figura 4.4.11. Y lo retenido de cada malla se pasa en una charola para pesar lo retenido.



En el dado caso de no contar con máquina de cribado, este procedimiento se hace manual para cada tamaño de criba:

A. Se prepara la criba con charola



Figura 4.4.12. Preparar criba con charola.

B. Con el cucharón se colocan porciones de la muestra de tal manera que no se cubra más de una capa de partículas.

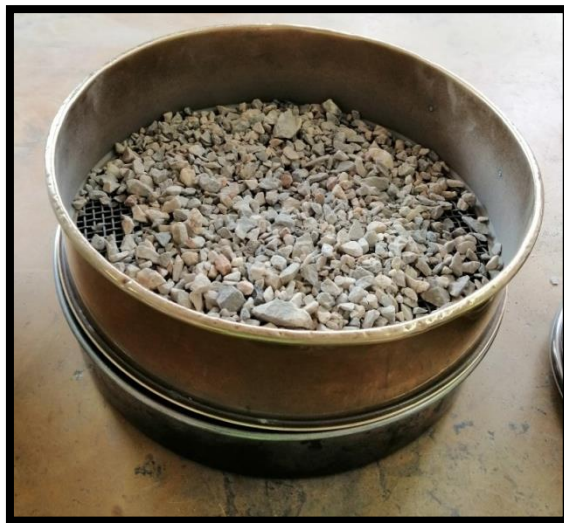


Figura 4.4.13. No saturar la criba.



C. Se agita con las dos manos manteniendo que todas las partículas estén en movimiento.

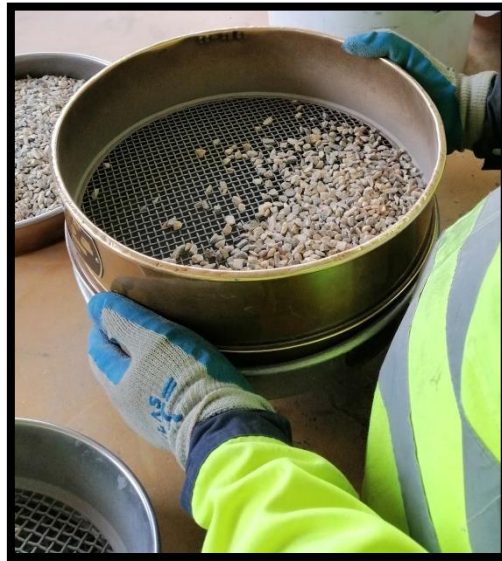


Figura 4.4.14. Agitar con ambas manos.

D. Cuando ya no pasa material, el retenido se pasa a una charola y se obtiene el peso retenido por esa criba.



Figura 4.4.15. Lo que pasa la criba se le anexa a la siguiente criba.



Figura 4.4.16. Lo retenido se pasa a una charola se obtiene el peso retenido.

E. Se continúa con la siguiente porción de la misma forma hasta que toda la muestra pase por todas las cribas y obtengas el retenido de cada criba.

- **Cálculo y Expresión de Resultados**

Los pesos retenidos en cada malla se proyectan en una gráfica, en la cual el eje “X” va a ser para las diferentes cribas y el eje “Y” va a ser para el Porcentaje Que Pasa

De los pesos retenidos se necesitan los siguientes datos para poder obtener el análisis granulométrico:

1. Porcentaje Retenido, Parcial y Acumulado
2. Porcentaje Que Pasa
3. Límites tanto Inferior y Superior (Parámetros de Aceptación)

De los puntos anteriores, el punto 1 se obtiene dividiendo el peso retenido por malla entre la suma de los retenidos el cual sería **% Retenido Parcial** y la suma de los % Retenido Parciales será el **% Retenido Acumulado**, el punto 2, se va restando de un 100% los % Retenidos Acumulados y el punto 3, los límites te los proporciona la norma NMX-C-111-ONNCCE-2014.

En el caso de las arenas para obtener el Módulo de Finura (MF), se va a obtener la sumatoria de los % Retenidos Acumulados, desde la Malla No. 4 a la No. 100 y a la sumatoria se va a dividir entre 100.

En el reporte presentar todo a número entero excepto lo que pasa la criba o Malla No. 200, la cual se reportara hasta 0.1%

**Ejemplo:**

De los siguientes pesos retenidos obtenidos de una granulometría de grava de 20 mm, obtener su análisis granulométrico.

<b>No. de Malla</b>	<b>Retenido (g)</b>
1	0.0
3/4	616.2
3/8	4232.4
No. 4	3151.1
No. 8	679.0
Charola	870.0
<b>SUMA</b>	<b>9548.7</b>

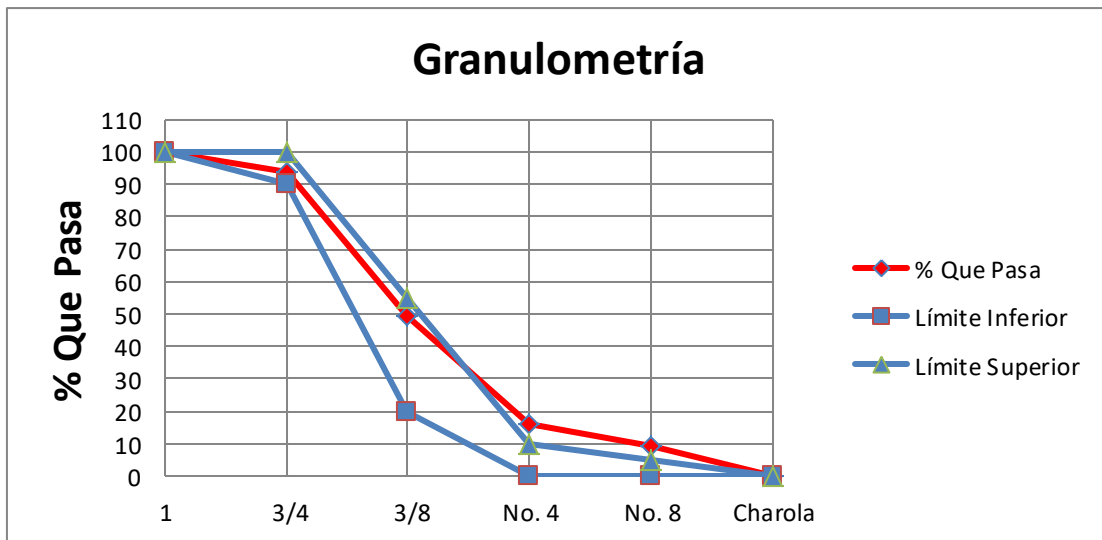
Al hacer las operaciones siguientes, se obtienen los % Retenidos tanto Parciales como Acumulados y el % Que Pasa.

<b>Tabla 4.4.3.</b>				
<b>No. de Malla</b>	<b>Retenido (g)</b>	<b>% Retenido</b>		<b>% Que Pasa</b>
		<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>	
1	0.0	$(0/9548.7) \times 100 = 0$	0	$100 - 0 = 100$
3/4	616.2	$(616.2/9548.7) \times 100 = 6$	$0 + 6 = 6$	$100 - 6 = 94$
3/8	4232.4	$(4232.4/9548.7) \times 100 = 44$	$6 + 44 = 51$	$100 - 51 = 49$
No. 4	3151.1	$(3151.1/9548.7) \times 100 = 33$	$51 + 33 = 84$	$100 - 84 = 16$
No. 8	679.0	$(679.0/9548.7) \times 100 = 7$	$84 + 7 = 91$	$100 - 91 = 9$
Charola	870.0	$(870/9548.7) \times 100 = 9$	$91 + 9 = 100$	$100 - 100 = 0$
<b>SUMA</b>	<b>9548.7</b>			

Al incluir en la tabla los límites que indica la NMX-C-111-ONNCCE-2014, nuestra tabla final nos quedaría de la siguiente forma:

<b>Tabla 4.4.4.</b>						
<b>No. de Malla</b>	<b>Retenido (g)</b>	<b>% Retenido</b>		<b>% Que Pasa</b>	<b>% Especificado</b>	
		<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>		<b>Límite Inferior</b>	<b>Límite Superior</b>
1	0.0	0	0	100	100	100
3/4	616.2	6	6	94	90	100
3/8	4232.4	44	51	49	20	55
No. 4	3151.1	33	84	16	0	10
No. 8	679.0	7	91	9	0	5
Charola	870.0	9	100	0		
<b>SUMA</b>	<b>9548.7</b>					

En la gráfica al final solo se van a graficar los datos de % Que Pasa, los Límites que indica la norma y las diferentes cribas por las cuales paso el material.



### Ejemplo 2:

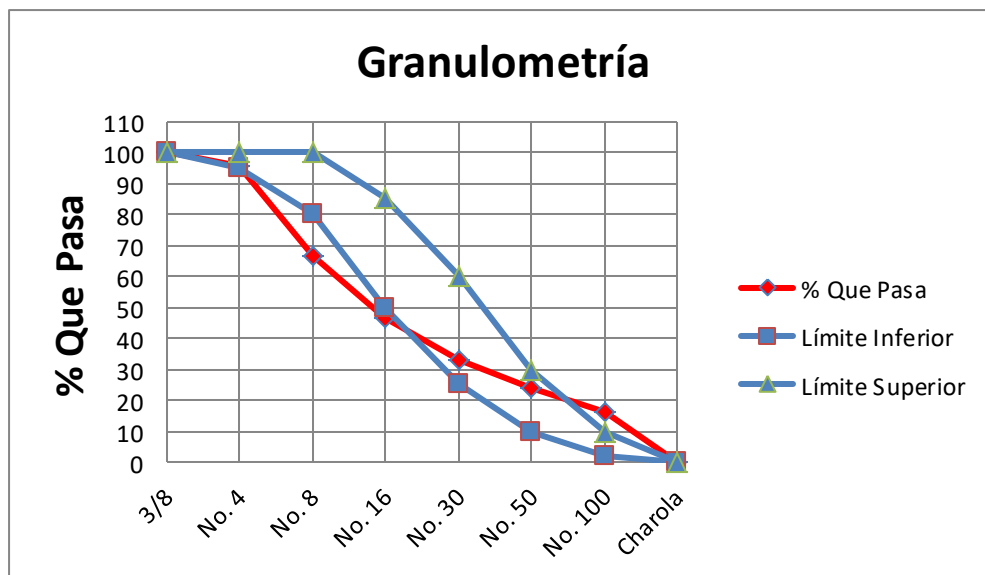
De los siguientes pesos retenidos obtenidos de una granulometría de una arena, obtener su análisis granulométrico y el Modulo de Finura.

No. de Malla	Retenido (g)
3/8	0.0
No. 4	26.3
No. 8	170.4
No. 16	119.1
No. 30	81.7
No. 50	51.9
No. 100	44.5
Charola	97.9
<b>SUMA</b>	<b>591.8</b>

Por lo cual al realizar las operaciones anteriores se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 4.4.6.						
No. de Malla	Retenido (g)	% Retenido		% Que Pasa	% Especificado	
		Parcial	Acumulado		Límite Inferior	Límite Superior
3/8	0.0	0	0	100	100	100
No. 4	26.3	4	4	96	95	100
No. 8	170.4	29	33	67	80	100
No. 16	119.1	20	53	47	50	85
No. 30	81.7	14	67	33	25	60
No. 50	51.9	9	76	2	10	30
No. 100	44.5	8	83	17	2	10
Charola	97.9	17	100	0	0	0
<b>SUMA</b>	<b>591.8</b>					

Y se obtiene la siguiente grafica de acuerdo al análisis granulométrico:



El módulo de Finura se obtendrá de la sumatoria del % Retenido Acumulado de la Malla No. 4 hasta la No. 100 y la sumatoria se dividirá entre 100.

<b>Tabla 4.4.7.</b>	
<b>No. de Malla</b>	<b>% Retenido</b>
	<b>Acumulado</b>
3/8	0
No. 4	4.44
No. 8	33.24
No. 16	53.36
No. 30	67.17
No. 50	75.94
No. 100	83.46
Charola	100.00
<b>SUMA</b>	317.61

$$MF = \frac{317.61}{100} = 3.18$$

**NOTA:** Como se puede observar en las gráficas anteriores, los dos agregados analizados no cumplen con los parámetros que indica la norma, pero tendrían que probarse en diseño de mezcla para ver si podrían llegar afectar tanto en consumos de cemento, agua y si podrían afectar en las resistencias.



# Capítulo 5. Diseño y Proporcionamiento

## Básico de Mezclas de Concreto

El **diseño** de mezcla se refiere a la determinación de características requeridas, es decir, al desarrollo de las especificaciones del concreto, de las cuales son:

1. Propiedades del concreto fresco
2. Propiedades mecánicas del concreto endurecido

El **proporcionamiento** es el proceso de determinación de cantidades de ingredientes usando materiales locales.

Un concreto adecuadamente diseñado y proporcionado debe presentar las siguientes cualidades:

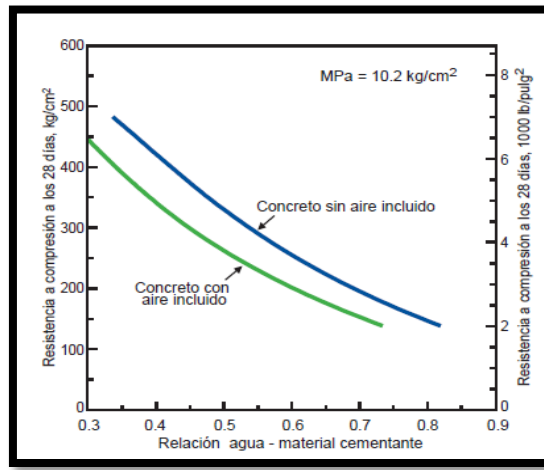
1. Trabajabilidad
2. Durabilidad
3. Economía

### Relación Agua-Cemento

Esta relación es simplemente la masa de agua dividida por la masa de cemento. Cuando la durabilidad no es un factor importante a considerar en un elemento, se deberá basarse en los requisitos de resistencia a compresión, por lo cual nos podemos basar en la siguiente tabla y gráfica:

Tabla 5.1.		
Resistencia a Compresión a los 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Relación Agua-Cemento	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450	0.38	0.31
400	0.43	0.34
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.72

Dependencia entre Resistencia a Compresión y Relación Agua/Cemento. Tabla. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.



Gráfica 5.1. Relación Aproximada entre Resistencia a Compresión y Relación Agua/Cemento. Gráfica. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

### Agregados

La cantidad de agua necesaria para producir un volumen de concreto, para un dado revenimiento, dependerá de los siguientes factores de los agregados:

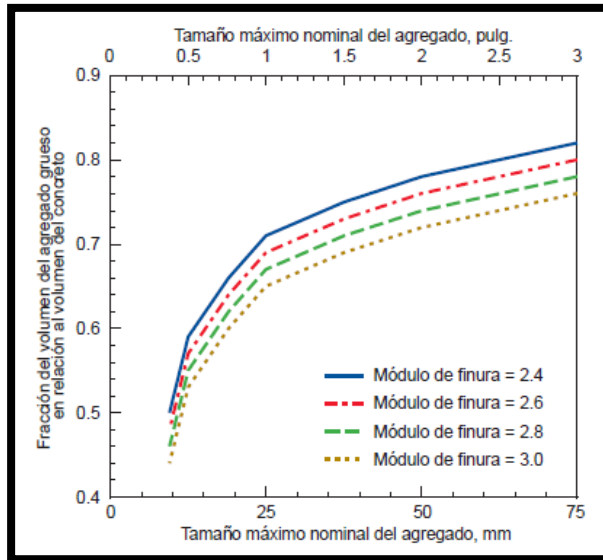
1. Forma, ya sea redondo o triturado
2. Tamaño Máximo
3. Cantidad de Agregado Grueso

Ya que la forma y tamaño máximo afectan en los consumos de agua, concretos con tamaños mayores y con agregado redondeado requiere menos agua por lo tanto permiten la disminución de cemento.

El volumen de agregado grueso depende del tamaño máximo nominal y el módulo de finura, por lo cual se determina con la siguiente tabla y gráfica:

Tabla 5.2.					
Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Volumen de Agregado Grueso Compactado para Diferentes Módulos de Finura			
mm	pulg	2.4	2.6	2.8	3.0
9.5	3/8	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
19.0	3/4	0.66	0.64	0.62	0.6
25.0	1	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	1 1/2	0.75	0.73	0.71	0.69
50.0	2	0.78	0.76	0.74	0.72
75.0	3	0.82	0.8	0.78	0.76
150.0	6	0.87	0.85	0.83	0.81

Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto. Tabla. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

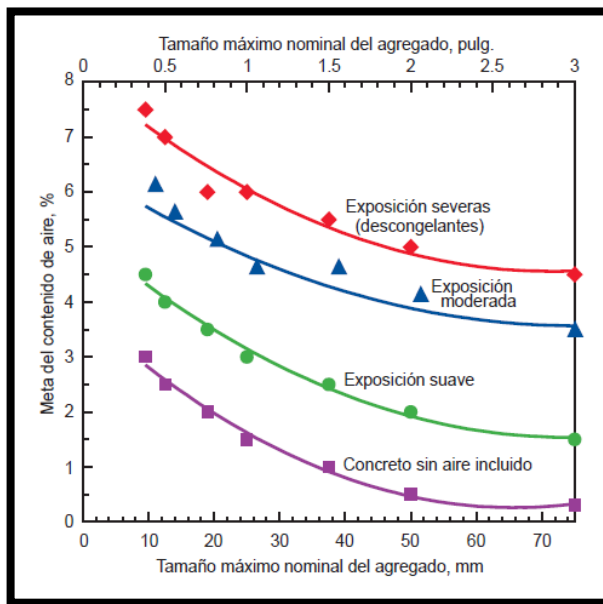


Gráfica 5.2. Volumen de Agregado Grueso por Volumen Unitario de Concreto.  
Gráfica. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

### Contenido de Aire

El aire será incluido en elementos de concreto que estén expuestos a congelación y deshielo, esta inclusión se logra a base de adición de aditivos inclusores de aire.

Los porcentajes de aire recomendados serán dependiendo el tipo de exposición y del tamaño de agregado se muestran en la siguiente gráfica:



Gráfica 5.3. Requisitos de Contenido de Aire para Diferentes Tamaños de Agregados. Gráfica. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Donde cada tipo de exposición deberá de cumplir con las siguientes características:

1. Exposición Leve o Suave

Esta inclusión es debida a los efectos benéficos en lugar de la durabilidad, tales como trabajabilidad y cohesión.

2. Exposición Moderada

En lugares donde se espera la ocurrencia de congelación pero el concreto no está expuesto a periodos continuos de humedad o donde el agua corre libre por largos periodos antes de la congelación. Ejemplos claros de esta exposición son las vigas, columnas, muros y losas exteriores, los cuales son elementos que no están en contacto con suelo húmedo.

3. Exposición Severa

Elementos de concreto que se expondrá a productos químicos continuos y estarán en contacto continuo con humedad o estará altamente saturado con agua libre antes de la congelación. Ejemplos claros de esta exposición son los pavimentos, aceras y pisos industriales.

Revenimiento

Siempre se va a buscar que una mezcla tenga trabajabilidad, consistencia y plasticidad requeridas para el tipo de elemento deseado, por lo tanto el revenimiento se usa para poder evaluar estos tres elementos, ya que la trabajabilidad es la facilidad o dificultad de colocación, la consistencia es la capacidad del concreto de fluir y la plasticidad es la facilidad de moldeo del concreto.

Dependiendo del tipo de elemento, de la cantidad de refuerzo y de si es a tiro directo o bombeado, hay varias recomendaciones, en la siguiente gráfica se dan los revenimientos recomendados según el tipo de elemento:

Tabla 5.3.		
Elemento de Concreto	Revenimiento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y Muros de Cimentación	75	25
Vigas y Muros Reforzados	100	25
Columnas	100	25
Pavimentos y Losas	75	25
Concreto Masivo	75	25

Revenimientos Recomendados para Varios Tipos de Elementos de Concreto.

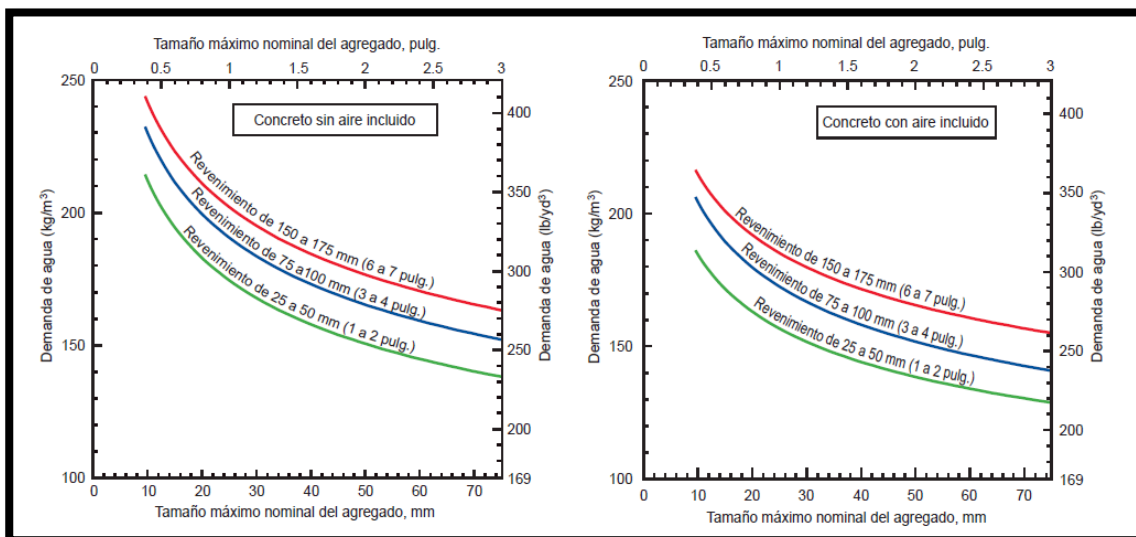
Tabla. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

### Contenido de Agua

El contenido de agua dependerá de muchos factores como:

1. Tamaño, Forma y Textura del Agregado
2. Revenimiento
3. Relación Agua/Cemento
4. Condiciones Ambientales

Por lo tanto en la siguiente gráfica y tabla se muestran aproximadamente la demanda de agua dependiendo del revenimiento deseado y tamaño máximo nominal del agregado, y por otra parte el aire aproximado que debe esperarse según tus consumos de agua y tamaño máximo del agregado:



Gráfica 5.4. y 5.5. Demanda de Agua Aproximada para Varios Revenimientos y Tamaños de Agregados Triturados. Gráfica. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Tabla 5.4.								
Revenimiento (mm)	Cantidad de Agua en Kilogramos por Metro Cúbico de Concreto, para los Tamaños de Agregados Indicados							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
	Concreto Sin Aire Incluido							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad Aproximada de Aire Atrapado en un Concreto (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto Con Aire Incluido								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Promedio del Contenido de Aire Total Recomendado, para cada Nivel de Exposición								
Exposición Leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición Moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Demanda de Agua Aproximada y Contenidos de Aire para Varios Revenimientos y Tamaños de Agregados. Tabla. 2004. PCA Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

*Ejemplo de Diseño y Proporcionamiento de Mezcla por el Método de Volumen Absoluto (Métrico)*

Se requiere un concreto para columnas, las cuales no va a tener contacto a congelamiento y deshielo. Resistencia requerida de un  $f'c$  de 350 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Revenimiento para columnas es de 100 mm, pero ya que va a ser bombeado se le añaden 4 mm, por lo tanto se busca un revenimiento final de 14 mm.

**Agregado Grueso:** Grava redondeada con tamaño máximo nominal de 19 mm, con una densidad relativa en estado SSS de 2.58, absorción de 0.5 %, masa volumétrica compactada de 1600 kg/m<sup>3</sup> y tiene una humedad de 2.5 %.

**Agregado Fino:** Arena caliza con una densidad relativa en estado SSS de 2.63, absorción de 0.70 %, Modulo de Finura de 3.2 y tiene una humedad de 0.4%.

1. **Relación Agua/Cemento:** Como la resistencia de diseño es de 350 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, de acuerdo con la gráfica 5.1 y tabla 5.1, la relación agua/cemento es de **0.48**.



2. **Contenido de Agua:** De acuerdo a la tabla 5.4, para un revenimiento entre 150 y 175 mm, un agregado de 19 mm y sin aire incluido, el contenido de agua es de  $216 \text{ kg/m}^3$ , pero ya que es grava redondeada se puede reducir el contenido de agua alrededor de  $25 \text{ kg/m}^3$ , por lo cual un contenido de agua final para el proporcionamiento será de  **$191 \text{ kg/m}^3$** . Y de acuerdo a la misma tabla 4 se espera obtener un porcentaje de aire alrededor del 2%.

3. **Contenido de Cemento:** Ya teniendo la relación agua/cemento y el contenido de agua, se obtiene el contenido de cemento por metro cubico:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0.48$$

Despejando:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{0.48} = \frac{191 \text{ kg/m}^3}{0.48} = \mathbf{398 \text{ kg/m}^3}$$

**NOTA:** Se sabe que se puede conseguir 1kg de resistencia por 1 kg de cemento, y como se busca una resistencia de  $350 \text{ kg/cm}^2$ , la cantidad de cemento deberá ser de  $350 \text{ kg/m}^3$ . Por lo tanto se deberán hacer mezclas con el intervalo de 350 a  $398 \text{ kg/m}^3$  de cemento. Pero si se cambia el contenido de cemento también cambia el contenido de agua manteniendo la relación agua/cemento.

$$\text{Agua} = \text{Cemento} \times 0.48 = \frac{250 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times 0.48 = \mathbf{120 \text{ kg/m}^3}$$

**NOTA:** Se debe tener en consideración que si se escoge la opción de bajar la cantidad de cemento por motivo de optimización, también bajara tu masa unitaria, por lo tanto se deberá checar si esta cumple y otro factor ya que el cemento es fino y ayuda a la trabajabilidad, por lo tanto al restar cemento, se resta trabajabilidad y a la hora de hacer la mezcla se deberá checar si esta es o no trabajable, si no es trabajable y no cumple con la masa unitaria, la opción más viable sería agregar arena.

4. **Contenido de Agregado Grueso:** La cantidad de agregado grueso dependerá del Módulo de Finura de la arena y del tamaño máximo nominal del agregado grueso, como se muestra en la tabla 5.2, teniendo una grava de 19 mm y un MF de 3.2, la cantidad de agregado grueso es de **0.58**. Como la masa volumétrica compactada es de  $1600 \text{ kg/m}^3$ , por lo tanto la masa de agregado grueso por metro cubico de concreto es de:

$$1600 \times 0.58 = \mathbf{928 \text{ kg/m}^3}$$

5. **Contenido de Agregado Fino:** Ya que se conocen todas las cantidades de los ingredientes excepto de la arena. En el método de volumen absoluto, el volumen de la arena se determina, dividiendo las cantidades de los ingredientes conocidos entre sus densidades y lo que falte para el metro cubico será en contenido de agregado fino.

$$\text{Agua} = \frac{191}{1 \times 1000} = 0.191 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = \frac{398}{3.1 \times 1000} = 0.128 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire} = \frac{2.0}{100} = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{928}{2.58 \times 1000} = 0.360 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen Total} = 0.191 + 0.128 + 0.020 + 0.360 = 0.699 \text{ m}^3$$

Por lo cual el volumen de la arena es:

$$1 - 0.699 = 0.301 \text{ m}^3$$

La masa de la arena es:

$$0.301 \times 2.63 \times 1000 = \mathbf{792 \text{ kg/m}^3}$$

6. **Corrección por Humedad:** Ya que todos los agregados contienen una cantidad de humedad. Las masas secas de agregados se deben aumentar para compensar la humedad. Para este ejemplo la humedad para el agregado grueso es de 2.5 % y el de agregado fino es de 0.4 %.

$$\text{Agregado Grueso (2.5\%)} = 928 \times 1.025 = \mathbf{951 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Agregado Fino (0.4\%)} = 792 \times 1.004 = \mathbf{795 \text{ kg/m}^3}$$

7. **Corrección por Absorción:** Ya que dependiendo los porcentajes de humedad y absorción que tenga cada agregado, se le va añadir o quitar agua a la mezcla dependiendo de estos. Por lo tanto:

A. En el agregado grueso, la absorción del agregado es de 0.5% y la humedad es de 2.5%, quiere decir, que esta en estado saturado y el agua en exceso va a aportar a la mezcla, hay que compensarla restándosela al agua de diseño.  $2.5\% - 0.5\% = 2.0\%$  (Humedad – Absorción).

B. En el agregado fino, la absorción es de 0.7% y la humedad es de 0.4%, quiere decir, que va a absorber parte del agua de diseño por lo cual esto se compensa sumándole la parte proporcional absorbida al agua de diseño.  $0.4\% - 0.7\% = - 0.3\%$ (Humedad – Absorción)

$$191 - (951 \times 0.02) - (795 \times - 0.003) = 174 \frac{kg}{m^3}$$

8. **Masa Unitaria Teórica:** La masa estimada por metro cubico será ya considerando las correcciones por humedad y absorción:

$$Agua = 174 \frac{kg}{m^3}$$

$$Cemento = 398 \frac{kg}{m^3}$$

$$Agregado Grueso = 951 \frac{kg}{m^3}$$

$$Agregado Fino = 795 \frac{kg}{m^3}$$

$$Masa Unitaria Teórica = 174 + 398 + 951 + 795 = 2,318 \frac{kg}{m^3}$$

## Capítulo 6. Patologías en el Concreto

Es el estudio de las causas, consecuencias y soluciones de los daños que puede sufrir el concreto.

Para que el concreto tenga un buen desempeño y se eviten la menor cantidad de patologías posible, se tienen que considerar las siguientes etapas y consideraciones que se llevan a cabo en la elaboración de un concreto:

### 1. Etapa de diseño

Se dan las especificaciones que debe tener el concreto para cada tipo de proyecto, con lo cual se considera lo siguiente:

- Considerar condiciones ambientales y de servicio.
- No omitir juntas de contracción, construcción y expansión.
- No omitir especificaciones técnicas y constructivas.
- Tener buen dimensionamiento en elementos y recubrimientos suficientes.

### 2. Etapa de Construcción

Se contempla el control de mezcla junto con la selección y protección de material primas, así como el manejo de concreto en obra, con lo cual se considera lo siguiente:

- Dosificar adecuadamente la mezcla en sitio.
- Tener un control de calidad en los ingredientes de la mezcla.
- Obtener el revenimiento, masa unitaria y muestreo de concreto.
- Tener buena colocación y compactación.
- Tener buenas prácticas de curado.
- Buena colocación y retiro de cimbras.

### 3. Etapa de operación

Aquí se contempla el cambio de uso o abuso de la estructura, desastres naturales y la falta de mantenimiento de la estructura.

A continuación se presentan las patologías más comunes y las causas que las provocan:

- **Contracción Plástica**

Es cuando el concreto pierde agua por la evaporación, lo cual hace que reduzca su volumen y puede ser generado por los siguientes aspectos:

1. Una velocidad del viento superior a 8 km/hr.
2. Baja humedad relativa.
3. Altas temperaturas ambientales y/o en el concreto.



Figura 6.1. Fisuras por contracción plástica.

- **Crazing**

Es el tipo de agrietamiento con finas aberturas en la superficie del concreto y puede ser generado por los siguientes aspectos:

1. Curado deficiente.
2. Retirar súbitamente el curado.
3. Pulido excesivo de la superficie.

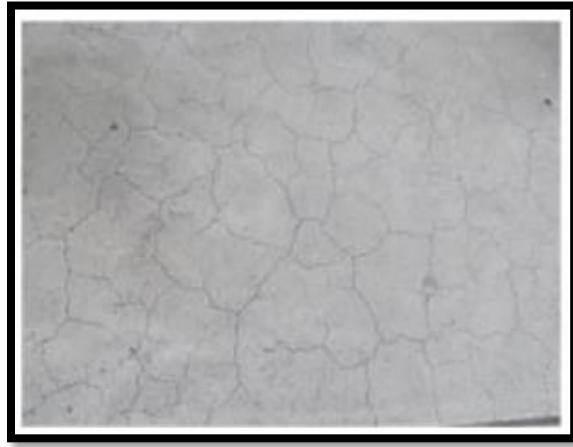


Figura 6.2. Forma de fisuras por crazing.

- **Ampollas y Delaminaciones**

Son bolsas de aire y agua que aparecen durante el proceso de acabado del concreto y puede se generan por los siguientes aspectos:

1. Alto contenido de aire.
2. Vibrado insuficiente.
3. Alta relación agua/cemento mayor de 0.65.
4. Sangrado alto.
5. Sobrepulido antes de fraguado inicial.



Figura 6.3. Delaminación.

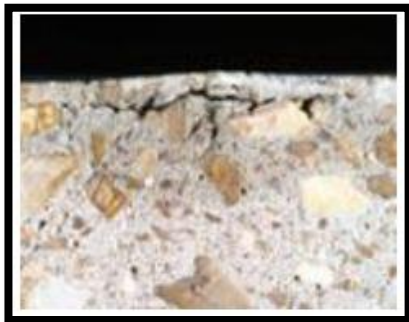


Figura 6.4. Internamente la forma que toma una ampolla o delaminación.



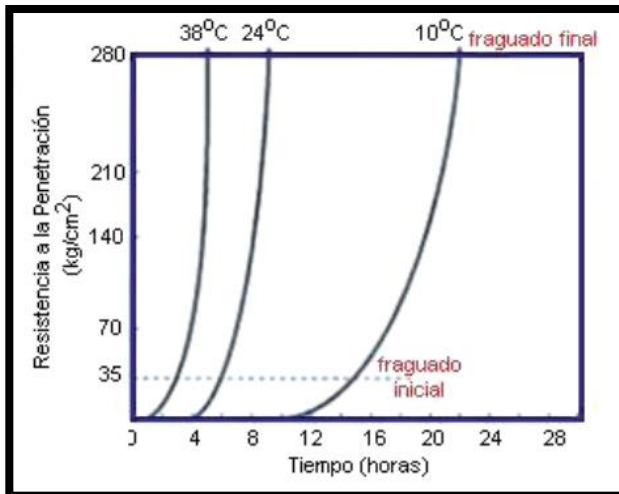
Figura 6.5. Ampollas.



- **Retardo de Fraguado**

Este ocurre cuando el concreto no llega al fraguado final y puede ser generado por los siguientes aspectos:

1. Una sobredosificación de más del 20% en aditivo retardante.
2. Un aumento de más del 10% en agua.
3. Cambio de cemento y/o agregados.



Gráfica 6.1. De acuerdo a la NMX-C-177-Tiempos de fraguado por el método de penetración, el fraguado inicial empieza cuando se tiene una resistencia de penetración de 35 kg/cm<sup>2</sup> y el final cuando se llega a los 280 kg/cm<sup>2</sup>.

- **Manchas Blancas o Eflorescencia**

Es cuando el concreto ha llegado a su fraguado final, se logran ver una textura polvosa de color blanco y puede ser generado por los siguientes aspectos:

1. Agua con alta concentración de sales.
2. Humedad suficiente para disolver las sales.
3. Evaporación de agua superficial que contiene las sales disueltas y depósito de las mismas en la superficie.



Figura 6.6. Eflorescencia en pisos.



Figura 6.7. Eflorescencia en losas.

- **Apanalamiento**

Es cuando el agregado grueso no está cubierto con pasta y puede ser generado por los siguientes aspectos:

1. Revenimiento menor de 12 cm.
2. Relación agua/cemento, menor a 0.40
3. Relación grava/arena alta, alrededor de 1.3.
4. Vibrado inadecuado.
5. Tamaño máximo del agregado mayor al requerido.
6. Insuficiente tiempo de fraguado.
7. Colar con alturas mayores de 1.5 metros.

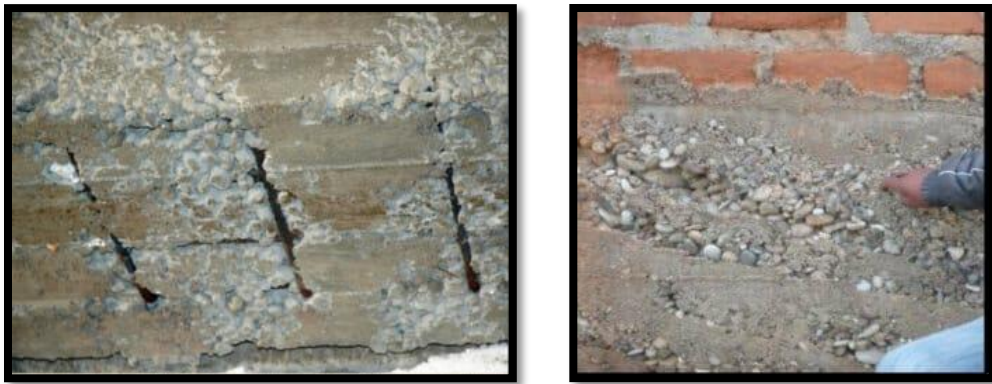


Figura 6.8. y 6.9. Apanalamiento de agregado grueso.

- **Pop Outs**

Es el desprendimiento de un fragmento en la superficie de concreto y puede ser generado por los siguientes aspectos:

1. Es la hidratación e hinchazón de un agregado ligero y poroso que al hidratarse cambia su volumen, generando presiones en el interior del concreto, dicho agregado ligero se conoce como partículas deleznales.



Figura 6.10. Pop Out.

- **Sangrado**

Es una forma de segregación en la cual parte del agua de la mezcla tiende a elevarse a la superficie y puede ser generado por los siguientes aspectos:

1. Asentamiento de los materiales por densidad.
2. Exceso de agua en la mezcla.
3. Exceso de vibrado.
4. Falta de finos en los agregados.



Figura 6.11. Sangrado en piso de concreto.

- **Juntas frías**

Es cuando tu estructura ya no se puede considerar monolítica y puede ser generado por los siguientes aspectos:

1. Tiempos de fraguados cortos.
2. Descontrol de temperatura.
3. Cambio de cemento, agregado y aditivos.



Figura 6.12. Junta fría.

## Conclusiones

Se puede concluir que al analizar las normas, en el caso de los agregados, se necesita actualización en la norma de la determinación de la “densidad relativa y absorción de agua del agregado fino”, ya que se pudo notar que como no todas las arenas se comportan de la misma forma, por lo mismo no se puede aplicar el mismo procedimiento para todas las muestras, ya que como unas arenas no tienen cohesión y en la mayoría de los casos la densidad de estas arenas se hace por base de observación.

Otra observación que se le puede hacer a las normas, es que en los procedimientos se asegura que no haya muchas desviaciones por lo meticolosos que son los procedimientos, pero por asegurar que los resultados sean confiables, no se toma en cuenta que a veces por cuestión de practicidad y eficiencia, se hacen desviaciones a los procedimientos, para obtener resultados más rápido. Pero cabe recalcar que estas desviaciones se llevan a cabo porque a base de experiencia, se observó que no afectan a los resultados, y así mismo se deben actualizar aquellas normas en las cuales estas desviaciones pueden llevarse a cabo.

Esta tesina comprende en las pruebas básicas en laboratorios, así como en la teoría que abarca en tecnología básica de concreto, pero si se quiere tener un vasto conocimiento en cuanto a concreto se refiere, puede ampliarse, lo cual se recomendaría tomar en cuenta “durabilidad en el concreto”, tanto en pruebas como en teoría, ya que hoy en día se sabe que la comercialización de concreto ya no solo abarca en especificaciones como la resistencia a compresión y módulo elástico o concreto estructural, sino también se abarca la durabilidad que tenga este contra agentes que afecten la vida útil, como son los cloruros y sulfatos por mencionar alguno de ellos.

Se puede decir que esta tesina cumple su propósito al ser una guía práctica para aquellos estudiantes o técnicos que quieran desempeñar en esta rama de la construcción, ya que recaba tanto teoría como la práctica llevada a cabo por laboratorios certificados ante la EMA, para así tener más comprensión de los procedimientos en el ámbito profesional.

## Bibliografía

- Kosmatka Steven H., Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese y Jussara Tanesi. 2004. Diseño y Control de Mezclas de Concreto. México. Portland Cement Association PCA.
- Adam M. Neville, 2013. Tecnología del Concreto. México. Instituto Mexicano del Cemento y Concreto.
- Ley Federal de Metrología y Normalización (LFMN).
- NMX-C-156-ONNCCE-2010, Industria de la Construcción-Concreto Hidráulico-Determinación del Revenimiento en el Concreto Fresco.
- NMX-C-162-ONNCCE-2010, Industria de la Construcción-Concreto Hidráulico-Determinación de la Masa Unitaria, Cálculo del Rendimiento y Contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método Gravimétrico.
- NMX-C-157-ONNCCE-2010, Industria de la Construcción-Concreto-Determinación del Contenido de Aire del Concreto Fresco por el Método de Presión.
- NMX-C-435-ONNCCE-2010, Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Temperatura del Concreto Fresco.
- NMX-C-159-ONNCCE-2016, Industria de la Construcción-Concreto-Elaboración y Curado de Especímenes de Ensayo.
- NMX-C-083-ONNCCE-2014, Industria de la Construcción-Concreto-Determinación de la Resistencia a la Compresión de Especímenes.
- NMX-C-128-ONNCCE-2013, Industria de la Construcción-Concreto Sometido a Compresión-Determinación del Módulo de Elasticidad Estático y Relación de Poisson.
- NMX-C-164-ONNCCE-2014, Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Grueso.
- NMX-C-165-ONNCCE-2014, Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Fino.
- NMX-C-073-ONNCCE-2014, Industria de la Construcción-Agregados-Masa Volumétrica-Método de Prueba.
- NMX-C-077-ONNCCE-1997, Industria de la Construcción-Agregados-Análisis Granulométrico.